



Revue Francophone des Laboratoires



**Volume 2017, Issue
489, Pages 3-117
(February 2017)**

 LEMONDEDESPHARMACIENS

 [LEMONDEDESPHARMACIENS](https://www.facebook.com/LEMONDEDESPHARMACIENS)

 [#LemondedesPharm](https://twitter.com/LemondedesPharm)

Elsevier Masson SAS
Société par actions simplifiées
à associé unique
au capital de 47 275 384 €
RCS Nanterre B 542 037 031
65, rue Camille-Desmoulins
92130 Issy-les-Moulineaux
Tél./Fax : 01 71 16... + les 4 chiffres
de votre correspondant
<http://www.elsevier-masson.fr>



PRÉSIDENT ET DIRECTEUR DE LA PUBLICATION :
Daniel Rodriguez

**DIRECTRICE DES REVUES PROFESSIONNELLES,
RÉDACTRICE EN CHEF :**
Yasmina Ouharzoune
y.ouharzoune@elsevier.com

CONSULTANT SCIENTIFIQUE DE LA RÉDACTION :
Claude Naudin
clinaudin@numericable.fr

COLLABORATEURS DE LA RÉDACTION :
Revue de presse :
Joël Gozlan, Marie-Caroline Le Bousse-Kerdilès,
Vincent Maréchal, Michel Segondy
Actualités — Santé publique — Veille juridique :
Jean-Marie Manus
FAX-RÉDACTION : 01 71 16 51 59

MARKETING – RESPONSABLE DE MARCHÉ :
Sonia Tadjdet (58 60)
s.tadjdet@elsevier.com

PUBLICITÉ – RESPONSABLE DE PUBLICITÉ :
Nicolas Zarjevski (51 38)
Mobile : 06 14 68 51 26
n.zarjevski@elsevier.com

SERVICE ABONNEMENTS :
Tél. : 01 71 16 55 99 – Fax : 01 71 16 55 77
<http://www.em-consulte.com/infos>

PAO : humancom, 48 rue de Dantzig, 75015 Paris.
IMPRESSION :
Lescure Théol, 27 Douains.

Copyright© 2017 — Elsevier Masson SAS — Tous droits réservés. Cette publication et son contenu sont protégés par le copyright de Elsevier Masson SAS, et les dispositions suivantes s'appliquent à son utilisation : Les simples photocopies d'articles isolés sont autorisées pour un usage privé, dans la mesure où les lois nationales relatives au copyright le permettent. L'autorisation de l'éditeur et le paiement de redevances est obligatoire pour toutes les autres photocopies, y compris les copies multiples ou systématiques, les copies effectuées à des fins promotionnelles ou de publicité, la revente et toute autre forme de distribution de documents. Des tarifs spéciaux sont disponibles pour les institutions d'enseignement qui souhaitent faire des photocopies à des fins non commerciales d'enseignement. Les personnes peuvent obtenir les autorisations nécessaires et payer les redevances correspondantes auprès du Centre Français d'Exploitation du Droit de la Copie (20, rue des Grands-Augustins, F – 75006 Paris). Les abonnés sont autorisés à effectuer des copies des tables des matières, ou établir des listes d'articles comprenant des extraits pour un usage interne à l'intérieur de leurs institutions. L'autorisation de l'éditeur est requise pour toute revente ou divulgation en dehors de l'institution. L'autorisation de l'éditeur est requise pour tous autres travaux dérivés, y compris les compilations et les traductions. L'autorisation de l'éditeur est requise pour saisir de façon électronique tout élément contenu dans la présente publication, y compris tout ou partie d'un article. Prière de prendre contact avec l'éditeur à son adresse indiquée ci-dessus. À l'exception de ce qui est indiqué ci-dessus, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, saisie dans un système de sauvegarde, ou transmise sous quelque forme que ce soit, électronique, mécanique, par photocopie, enregistrement ou autre, sans l'autorisation préalable et écrite de l'éditeur. La responsabilité de l'éditeur ne saurait en aucune façon être engagée pour tout préjudice et/ou dommage aux personnes et aux biens, que cela résulte de la responsabilité du fait des produits, d'une négligence ou autre, ou de l'utilisation de tous produits, méthodes, instructions ou idées contenus dans la présente publication. En raison de l'évolution rapide des sciences médicales, l'éditeur recommande qu'une vérification extérieure intervienne pour les diagnostics et la posologie.

Dépôt légal : à parution

Couverture
© E. Gaudry

Index des annonceurs
Elsevier Masson

4 - 7 - 22 - 2^e de couv
4^e de couv

édito

Maladies chroniques et médecine générale

Membres de l'Académie nationale de médecine, les Prs Pierre Godeau, Bernard Grosbois et Claude Jaffiol, ont présenté devant celle-ci le rapport *Prise en charge des maladies chroniques : redéfinir et valoriser le rôle du médecin généraliste*.

Ainsi y rappellent-ils, les maladies chroniques constituent la première cause de décès et la source principale des dépenses de santé, un dépistage précoce peut limiter la gravité de l'évolution, réduire leur coût...

Mais on voit encore fréquemment une mauvaise observance du traitement par les patients et, quoique plus rare, l'inadaptation de la thérapeutique prescrite à l'évolution clinique. Alors il faut revoir totalement la prise en charge du *patient chronique*, le rendre autonome [entre deux visites médicales], l'associer à la *cogestion* de sa maladie - à condition aussi de donner au médecin les moyens de coordonner les étapes du parcours de soins [où le LBM est souvent une clé-NDLR].

Pour les trois Sages, cela exige aussi de donner aux praticiens des moyens financiers pour consacrer plus de temps à ces patients, dans une nouvelle organisation professionnelle.

La prévention et l'éducation thérapeutique du patient sont les clés de cette évolution thérapeutique, comme l'éducation à la santé, une meilleure formation des professionnels de santé, un accès aisé au numérique et la reconnaissance par des mesures concrètes de la place du généraliste [important prescripteur d'examen de biologie médicale] dans un *nouveau parcours de soins* qu'il coordonnera.

Pour y arriver, MM. Godeau, Grosbois et Jaffiol formulent 4 propositions : inclure une formation psychologique, sociale et thérapeutique dans les études de médecine avec une formation pratique en zones urbaine et rurale, axées notamment sur les populations défavorisées ; développer la formation thérapeutique et l'emploi des solutions d'e-santé ; renforcer le lien entre pratiques privée et hospitalière ; augmenter le nombre de centres de soins incluant des médecins et des paramédicaux au sein de réseaux coordonnés par le généraliste.

Alors que trop de territoires manquent de généralistes et qu'on ne fait rien pour eux, y arriveront-ils ?

RFL

Conseil scientifique

PRÉSIDENT : Paul LAFARGUE (Paris).

BUREAU : Bruno BAUDIN (Paris), Dominique CHABASSE (Angers), Alain CHEVAILLER (Angers), Éric GARNOTEL (Marseille), Michèle IMBERT (Créteil), Marie-Laure JOLY-GUILLOU (Angers), Marc MAYNADIÉ (Dijon), Michel SEGONDY (Montpellier).

COMITÉ :

MEMBRES FRANÇAIS : Frédéric BARBUT (Paris), Patrice BOURÉE (Le Kremlin-Bicêtre), Claude GUIGUEN (Rennes), Paul HOFMAN (Nice), François JEHL (Strasbourg), Saïd KAMEL (Amiens), Marie-Nathalie KOLOPP-SARDA (Lyon), Jean-Jacques LATAILLADE (Clamart), Jean-Philippe LAVIGNE (Nîmes), Jérôme LE GOFF (Paris), Michèle MALET (Caen), Vincent MARÉCHAL (Paris), Denis MASSIGNON (Lyon), Thierry MOLINA (Paris), Valérie UGO (Angers).

MEMBRES ÉTRANGERS : Smail BELAZZOUG (Algérie), Ahcène DEMBRI (Algérie), Hicham OUAZZANI (Maroc), Lassaad SARRAI (Tunisie), Abderrahim TAZI (Maroc).

MEMBRES HONORAIRES : Marie-Hélène BESSIÈRES (Toulouse), René CHERMETTE (Maisons-Alfort), Jean-Louis KOECK (Bordeaux), Anne-Marie MANEL (Champagne-au-Mont-d'Or), Jean-Claude NICOLAS (Chatou/Princeton, USA), Martine TIROUCHE †, Michel VAUBOURDOLLE (Paris).

BRÈVES

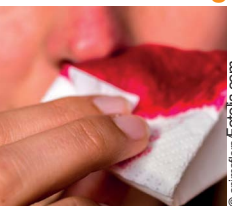
Olumiant®, pour la polyarthrite rhumatoïde

L'Agence européenne des médicaments (EMA) a recommandé une autorisation de mise sur le marché (AMM) à Olumiant® (baricitinib, Lilly), un nouveau traitement oral de la polyarthrite rhumatoïde (PR) de modérée à sévère, en relais d'un précédent traitement inefficace et/ou mal toléré. Il peut être associé au méthotrexate, molécule de référence des traitements rhumatologiques combinés. Olumiant® agit en bloquant l'activité d'enzymes dénommées Janus kinases (JAK) et qui ont une fonction-clé dans le processus auto-immune et inflammatoire de la PR. La nouvelle molécule devrait réduire l'inflammation de la PR et d'autres symptômes de la PR. Il s'agit du premier inhibiteur des JAK destiné au traitement de la PR dans l'Union européenne, offrant un mode d'action différent des traitements jusqu'ici disponibles, souligne l'EMA. La recommandation de la Commission des produits médicaux à usage humain (CHMP) de l'EMA est basée sur les résultats de 4 essais randomisés de 52 semaines chez 3 100 patients naïfs ou jamais traités, qui ont montré une efficacité maintenue par rapport à un placebo ou à des comparateurs de référence.



© mayas2008/Fotolia.com

Anticoagulant + statine : déconseillés ?

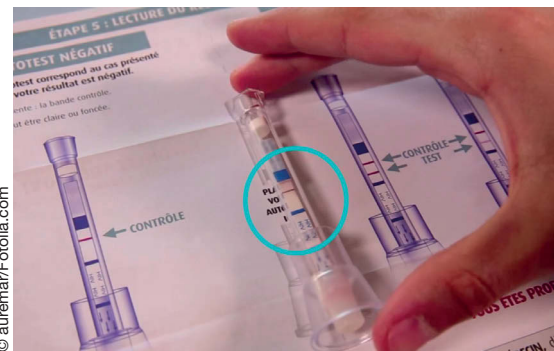


© animalia/Fotolia.com

Selon une information du Centre hospitalier Saint-Michael de Toronto et du *Canadian Medical Association Journal* (21/11/2016) l'association d'un anticoagulant et d'une statine en cas de fibrillation auriculaire augmenterait le risque de saignement des patients. D'après le service de pharmacologie de l'hôpital, ce risque apparaîtrait avec la lovastatine ou la simvastatine chez des patients arythmiques recevant par ailleurs du dabigatran (en prévention du risque de thrombose et d'AVC de la fibrillation auriculaire). Selon l'étude publiée (Tony Antoniou et coll.), les patients auraient un surrisque de 40 % de saignement dû à cette association. Cette éventualité serait due au fait que certaines statines auraient pour effet d'augmenter le taux circulant de dabigatran, d'où augmentation du risque de saignement. Il reste à confirmer que ce risque n'est pas en cause avec d'autres types de statines. L'équipe de Toronto a étudié le cas de quelque 46 000 patients de 65 ans et plus. Ce risque ne concerne pas forcément des patients plus jeunes, mais doit être connu des professionnels de santé.

Autodépistage du VIH : quel bilan un an après ?

Le 15 septembre 2015, on s'en souvient, le premier autotest de dépistage du VIH, élaboré par la société française AAZ¹ et distribué par le Laboratoire Mylan, était mis à la disposition du grand public dans les officines pharmaceutiques avec possibilité de l'acquérir sans prescription médicale. Un peu plus d'un an après (21 novembre), quel bilan établir de cette innovation ?



© auremar/Fotolia.com

Les pharmaciens engagés dans l'autodépistage du VIH en témoignent : près de 140 000 autotests VIH® ont été référencés par plus de 11 200 officines, soit un peu plus d'une pharmacie sur 2 en France au cours des 12 derniers mois, et près de 2 000 autotests y sont achetés en moyenne chaque semaine. Selon la Société française de lutte contre le sida, plus de 80 % des pharmaciens qui s'y impliquent ont suivi une formation à la pratique de l'autotest dit aussi TROD (test rapide d'orientation diagnostique). Ainsi plus de 4 000 pharmacies ont installé le kit de sensibilisation au dépistage, qui comporte un guide d'information pour l'équipe officinale et des outils de communication en vitrine et au comptoir pour sensibiliser le public. Parallèlement à l'implication des pharmaciens officinaux, les autorités de santé contribuent à la communication sur l'autodépistage et à sa pratique avec l'annonce de la mise à disposition du test en pharmacie et la campagne d'incitation au dépistage via l'INPES [Institut national pour l'éducation sanitaire, intégré désormais dans l'Agence nationale de santé publique France]. Ces actions ont facilité l'accès à l'information et ont permis d'intégrer parmi les moyens déjà disponibles de dépistage (tels les LBM!) autotest VIH®, un autotest simple d'utilisation destiné à des utilisateurs devenus autonomes grâce au soutien informatif des professionnels de santé et du laboratoire distributeur pour l'aide à la réalisation du test. Exemple : plus de 3 000 demandes d'information sur l'autotest ont été enregistrées sur le numéro vert de Sida Info Service, dont une proportion concernait l'accompagnement à la réalisation du test.

Par ailleurs, une enquête d'IllicoPharma² depuis le lancement en 2015 révèle que l'autotest touche *une population qui ne serait pas dépistée autrement*. En effet, chez 40 % des utilisateurs, il s'agit d'un premier dépistage du VIH, dont 55 % déclarent qu'ils ne se seraient pas rendus en centre de dépistage si l'autotest n'avait pas été disponible en pharmacie ! Selon la même source, en cas d'achat sur internet, 25 % d'entre eux achètent 2 autotests ou plus, pour se re-tester ou tester leur partenaire. L'impact en matière de découverte de nouvelles séropositivités via autotest VIH® est encore difficile à évaluer, il pourrait être approché en 2017, dans la mesure où la déclaration obligatoire d'infection à VIH et de sida par un professionnel de santé inclut désormais l'autotest parmi les circonstances du dépistage. Néanmoins des centres de dépistage et des services hospitaliers d'inféctiologie signalent déjà la prise en charge de patients venus se déclarer positifs après réalisation d'un autotest VIH®. ■■

J.-M. M.

Source : Mylan ; AAZ.

Notes : 1. PME française, experte en tests de dépistage ; bénéficie du savoir-faire de sa société sœur Nephrotek, acteur à l'origine des TROD INSTI®, utilisés en routine dans la majorité des structures de dépistage par TROD en France, soit plus de 700 lieux de dépistage (associations, centres de dépistage, hôpitaux, médecine libérale...). AAZ propose aussi en pharmacie le premier autotest FERTILITÉ pour l'homme et le premier autotest GLUTEN de dépistage de l'intolérance au gluten. À venir : plusieurs autotests innovants. www.autotest-sante.com. 2. IllicoPharma : enquête sur 2 057 autotests vendus du 15/9/2015 au 30/9/2016.

PESS, complication mal connue de la rougeole

Rougeole, *petite maladie infantile*, que certains parents pensent obligatoire pour que leurs enfants fassent des anticorps pour le reste de leur vie. En France, en plein climat anti-vaccination, que le ministère de la Santé peine à contenir, on n'a pas eu de campagne depuis longtemps incitant les parents à protéger leurs enfants.

Aux USA, où la contestation révèle surtout un manque d'information technique, on se rappelle que la rougeole (measles) peut être une maladie invalidante, sa cible n'est pas tant respiratoire que neurologique. Cette complication à risque léthal serait plus fréquente qu'on le pense.

Alors qu'une rougeole guérit en moyenne en 2 semaines, son virus peut se réfugier dans le SNC de façon latente, y demeurer plusieurs années pour se réactiver dans diverses circonstances (baisse de l'immunité ?) pour y déclencher la redoutable et incurable (dans l'état actuel des connaissances) panencéphalite sclérosante subaiguë, ou PESS (*subacute sclerosing panencephalitis*/SSPE).

Cette complication de la *petite maladie infantile* toucherait un sujet sur 100 000 et ciblerait essentiellement les sujets ayant été atteints de rougeole au jeune âge, d'après les données d'une étude présentée par James Cherry et coll. (Infectiologie pédiatrique, David Geffen School of Medicine, Université de Californie, Los Angeles).

Ainsi, un enfant sur 1 400 ayant eu une rougeole avant 5 ans risque de développer une PESS, contre 1 sur 600 ayant contracté une rougeole avant l'âge de 12 mois, avancent les auteurs. La PESS est bien une complication tardive de la rougeole, survenant 10 ans en moyenne après la maladie, alors que les patients semblaient avoir récupéré. C'est justement ce délai entre la maladie princeps et le temps écoulé avant la constitution de la PESS qui fit longtemps autrefois considérer celle-ci comme une maladie autonome [NDLR].

Quid de l'immunité de population ?

En l'absence de tout traitement curatif, il n'existe qu'un seul moyen de prévention : la vaccination avec l'immunisation triple rougeole/oreillons/rubéole (ROR), rappellent les auteurs, qui indiquent cependant que des antiviraux peuvent ralentir la progression de la PESS. Il s'agit d'une complication le plus souvent létale, le délai moyen de survie est de 12 à 24 mois, même si l'on observe des survies plus longues.



© Fotolia.com

Le problème est que la vaccination ROR n'est pas recommandée avant 12 mois dans la mesure où l'enfant bénéficierait encore des anticorps transmis par la mère, donc à risque de neutraliser le vaccin. Par ailleurs, en cas d'immunodépression, les enfants se trouvent très vulnérables.

Pour cette étude, J. Cherry et coll. ont revu 17 cas de PESS survenus en Californie entre 1998 et 2005. Aucun des patients concernés n'avait été vacciné par le ROR (*measles/mumps/rubella*/MMR), la PESS a été diagnostiquée en moyenne à l'âge de 12 ans – entre 3 et 35 ans en réalité. Aucune cause de réactivation du virus n'a été mise en évidence...

Dans le climat actuel de contestation des vaccinations, de chaque côté de l'Atlantique, la désaffection pour le ROR expliquerait que la couverture vaccinale créant une immunité de population (en anglais : *herd immunity*) est insuffisante, alors que si on l'obtenait, même ceux qui ne sont pas vaccinés seraient protégés car le virus ne pourrait plus circuler, rappellent les auteurs, les pays mal vaccinés étant en outre menacés chaque année par des cas importés. La protection d'un pays contre la rougeole exige que 95 % au moins de la population soient vaccinés, selon les recommandations de l'OMS. ■■

J.-M. M.

Source : D. Cherry et coll., congrès ID Week, New Orleans, 28/10/2016, via HealthDay News

BRÈVES

Cancer, fléau de l'Europe

Le cancer a pris le pas sur la maladie cardiaque et l'accident vasculaire cérébral (AVC) dans l'épidémiologie des maladies létales dans 12 pays d'Europe (au niveau mondial, les maladies vasculaires sont la première cause de mortalité : plus de 17 millions de décès/an). Dans les 53 pays de la Région Europe de l'OMS, les cardiopathies ont tué plus de 4 millions de personnes en 2016, soit 45 % de tous les décès. Le cancer est responsable de moins de la moitié des décès dus aux cardiopathies. On constate cependant que la prévention et la prise en charge de ces dernières ont favorisé leur déclin dans plusieurs pays. Sauf dans les 12 pays en question où elles ont laissé la place au cancer : Belgique, Danemark, France, Israël, Italie, Luxembourg, Pays-Bas, Norvège, Portugal, Slovaquie, Espagne et Royaume-Uni. Publiées le 15 août dans l'*European Heart Journal*, ces statistiques font notamment apparaître des inégalités entre pays, note un éditorialiste, ainsi les pays où le cancer cause plus de décès sont en Europe occidentale. À l'inverse la majorité des décès par cardiopathie et AVC est constatée dans les pays de l'Est.



© Frantab / Fotolia.com

ACM-vaccin contre le diabète

La biopharma française Neovacs étudie une molécule originale, le kinoïde interféron alpha, anticorps monoclonal (ACM)/vaccin thérapeutique contre le diabète de type 1. Développé avec une équipe du CHU Cochin (Paris), l'IFN-alpha kinoïde produit des anticorps polyclonaux neutralisant l'interféron alpha dont la surexpression est une signature du diabète de type 1, explique Neovacs. Des *études précliniques vont tester ce vaccin sur des souris NOD* (non-obese diabetics) pour évaluer sa capacité à neutraliser l'interféron alpha. Cette collaboration entre recherche privée et recherche académique confirme l'intérêt et le potentiel de la technologie Neovacs, estime Miguel Sieler, DG de la biopharma. Elle soutient la confiance de Neovacs dans le développement de vaccins thérapeutiques, notamment l'IFN-alpha kinoïde. M. Sieler estime urgent de *s'intéresser aux besoins médicaux non satisfaits* dans le domaine du diabète et se dit confiant de parvenir à développer un traitement ciblé. Le vaccin a déjà été testé en phase 1 et 2 dans le lupus, également caractérisé par la signature interféron.



© hakai/Fotolia.com

www.neovacs.fr

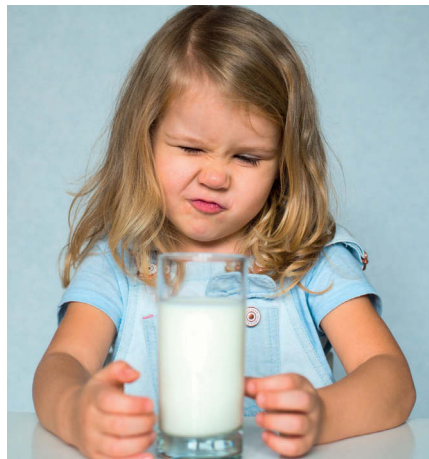
Maîtrise de l'allergie: la méthode française testée aux USA

DBV Technologies, biopharma française qui a développé une technologie originale, Viaskin®, pour traiter la sensibilisation aux allergènes alimentaires, a procédé aux USA aux premières intégrations de patients en vue de la réalisation d'un essai de phase 2 destiné à évaluer l'efficacité de Viaskin® Milk, destiné aux sujets allergiques au lait de vache, porteurs d'IgE spécifiques.

Il est à signaler que la *Food and Drug Administration* (FDA) a accordé à Viaskin® Milk une revue prioritaire accélérée (*fast track*) du dossier présenté par DBV Technologies.

L'essai MILES (*Milk Efficacy and Safety*) est conçu pour évaluer l'efficacité et la sécurité de Viaskin® Milk pour la désensibilisation de cette allergie chez les enfants de 2 à 17 ans porteurs, selon la terminologie américaine de CMPA (*cow's milk protein allergy*). Ce dispositif médical original est basé sur la technologie développée par DBV; l'immunothérapie épicutanée (EPIT), qui permet de délivrer des microdoses biologiquement actives de l'allergène vers le film cutané (*via (the) skin*) sans passage systémique.

Lors de la phase 1 de l'étude MILES, aucun problème de sécurité n'a été observé.



© shapovalphoto / Fotolia.com

Ses résultats ont été présentés en mars dernier par le Dr Karine Rutault, responsable des projets cliniques de DBV, au congrès annuel de l'AAAI (*American Academy of Allergy, Asthma & Immunology*) à Los Angeles. La phase 2 a sélectionné 283 patients, et finalement devrait suivre 176 enfants qui seront randomisés pour recevoir l'une des trois doses de Viaskin® Milk à tester: 150 µg, 300 µg, 500 µg ou un placebo pendant 12 mois.

Pour les allergologues américains, cet essai est une étape importante dans le traitement de la CMPA pédiatrique, dans la mesure où ces sujets peuvent être soumis aux effets à risque du lait de vache existant à l'état de traces dans certains

aliments courants de consommation courante. La CMPA est l'une des allergies alimentaires les plus courantes chez les enfants. Si Viaskin® Milk se montre sûr et efficace, ce dispositif pourrait devenir le premier produit-candidat à offrir un traitement potentiel pour ces patients, s'il est approuvé.

MILES est un essai multicentrique en double aveugle contre placebo. Il sera mené dans 17 centres médicaux sélectionnés aux USA et au Canada. Le critère principal d'efficacité est la tolérance à 12 mois des sujets traités à de petites quantités de lait de vache.

Présenté sous forme de *patch* cutané, Viaskin® Milk est un traitement expérimental (pour l'instant) de l'allergie au lait de vache et de l'œsophagite à éosinophiles (EoE). DBV a également développé Viaskin® Peanut pour l'allergie à l'arachide (en expérimentation aux USA) et Viaskin® Egg pour l'allergie à l'œuf (en développement préclinique).

L'allergie au lait de vache a une prévalence de 2 à 3 % de la population. Son seul traitement est la suppression de cet aliment essentiel, ce qui pose un problème nutritionnel, principalement chez l'enfant et l'adolescent en pleine croissance. ■■

J.-M. M.

Source: DBV Technologies (Montrouge).
www.dbv-technologies.com

Génériques: les Français encore méfiants



© JPC-PROD/Fotolia.com

Selon le ministère de la Santé 78 % des Français utilisent des médicaments génériques dont 93 % sont satisfaits (Institut BVA), le générique étant un pilier essentiel de la pérennité de notre système de santé: en 5 ans, il a permis 7 milliards d'euros d'économies réinvestis notamment dans les traitements innovants.

Pourtant notre taux de prescription des génériques est inférieur à celui d'autres pays européens, parce que, dit le ministère, *encore trop de Français et de professionnels de santé continuent de s'interroger sur les génériques*. En vue de leur promotion a été proposé en 2012 le système *Tiers-payant contre générique* dispensant d'avance de frais en pharmacie les assurés en accep-

tant la délivrance. En 2016 les pharmaciens délivrent 8 fois sur 10 un générique à la place d'un princeps.

En 2015 un plan triennal pour la promotion du Gé a été proposé en ville, à l'hôpital et dans les établissements pour personnes âgées dépendantes (EHPAD) pour lever les freins à son usage chaque fois que possible. L'accélération de la commercialisation des génériques (autorisation de mise sur le marché/AMM) est une priorité de l'ANSM, 120 nouveaux groupes de génériques ont été créés en 2015-2016: anticancéreux, anti-inflammatoires, antirétroviraux, antifongiques, etc.

Être générique, ça se mérite

La prescription de génériques est devenue l'une des priorités du DPC des médecins: le bon usage du médicament générique

est un élément central de la formation initiale et continue des prescripteurs. Enfin est à disposition des professionnels de santé un système d'aide à la décision de la prescription d'un générique s'il répond aux besoins du patient. Un an seulement après le lancement de ce plan, l'objectif triennal qui était de passer de 40 % à 45 % de la prescription de génériques des professionnels de santé a pratiquement été atteint. En septembre 2016, une campagne de communication pour renforcer la confiance des

patients et des prescripteurs a diffusé ce message : *Devenir générique, ça se mérite*, pour rassurer sur la sécurité et l'efficacité de ces médicaments : pour pouvoir être développé sous forme de générique, un médicament a dû au préalable prouver sa qualité, sa sécurité et son efficacité. Un générique, c'est un médicament qui a bénéficié de 10 ans d'études et de 10 ans d'utilisation, un médicament moins cher mais tout aussi sûr et efficace [que le princeps, qu'il copie – NDLR].

Cette campagne lancée avec l'Assurance maladie et l'ANSM est adaptée à ses cibles : patients, prescripteurs, pharmaciens. Elle s'étalera sur 3 ans, l'objectif étant que chaque Français, chaque professionnel de santé, chaque patient, *considère le médicament générique comme un médicament à part entière, un médicament tout court (sic)*. C'est un enjeu économique, pour réduire les dépenses afin de faire vivre notre système de santé. ■■

J.-M. M.

Industrie du dispositif médical : avenir inquiétant ?

Menacée d'une baisse autoritaire de leurs prix de vente, par un avis du Comité économique des produits de santé (CEPS), les fabricants de dispositifs médicaux (DM), expriment par la voie du Syndicat national de l'industrie des technologies médicales (SNITEM)¹ le risque que représenterait une telle mesure pour cette industrie de niches, constituée plutôt de PME/TPE.

Une menace pour ces sociétés dont les produits sont inscrits à la LPPR, la liste des produits et prestations (pourtant) remboursables. D'où l'initiative du SNITEM : formuler 12 propositions et inviter les candidats à l'élection présidentielle à prendre position sur les enjeux de l'innovation-santé des entreprises du DM, l'accès à la médecine de pointe et aux produits innovants, l'emploi et la sauvegarde d'entreprises innovantes pour la santé. Ces 12 mesures s'articulent en 3 axes.

D'une part c'est une industrie innovante au bénéfice des patients, les DM transforment des vies, en répondant aux besoins de divers handicaps et pathologies. Continuer à améliorer les solutions-santé innovantes, la qualité et la sécurité des soins des patients, c'est d'autant plus important que la part de la population en affection de longue durée (ALD) passera de 15 % en 2011 à environ 20 % en 2025.

D'autre part il faut créer un cadre favorable à l'efficacité du système de soins et de santé. Les DM ont un rôle majeur pour l'évolution de l'organisation des soins, en permettant de diminuer les durées d'hospitalisation, de développer et d'améliorer la prise en charge ambulatoire (dispositifs



© Sherry Young/Fotolia.com

plus petits et autonomes : traitement de l'apnée du sommeil, autosurveillance), d'améliorer le maintien et le retour à domicile ou dans l'emploi, mais aussi de disposer de diagnostics plus précoces (imagerie).

Enfin l'industrie du DM est au service de la compétitivité et de l'attractivité de la France, que l'on doit favoriser. La santé représente 10 % de l'emploi en France. L'industrie du DM, industrie de main-d'œuvre, au carrefour de multiples technologies (mécanique, électrique, électronique, informatique, biomatériaux, textile, chimie...) représente dans notre pays un marché de près de 25 milliards d'euros et plus de 85 000 emplois, avec près de 1 300 fabricants de DM en France. Le secteur est à l'origine de nouveaux métiers liés aux solutions de e-santé (télémédecine). Cependant l'évolution des soins reste freinée par une évaluation qui ne valorise pas l'apport organisationnel des nou-

velles technologies et par des difficultés qui handicapent la reconnaissance et la diffusion des technologies dans des délais raisonnables.

Enfin les procédures d'accès au marché des nouveaux produits sont contraignantes, les délais trop longs retardant l'accès des patients à l'innovation. Ceci freine les investissements en France des entreprises étrangères et contraint des entreprises françaises à s'implanter directement à l'étranger ou à tout miser sur l'export ! Ces blocages nous font perdre du terrain, la France n'est que 24^e du classement publié en septembre par le *Lancet* prenant en compte 33 critères de l'ONU relatifs à la santé.

Cherchez l'erreur ! ■■

J.-M. M.

1. Créé en 1987, le SNITEM fédère quelque 400 entreprises françaises ou internationales. www.snitem.fr

Fragilisation du secteur pharmaceutique :

« faire autrement », dit le LEEM

© pongsuwan/Fotolia.com



Alors que les questions de santé publique figurent largement dans les débats politiques actuels, centrés sur la prochaine élection présidentielle, le LEEM, au nom des entreprises du médicament l'industrie pharmaceutique, a dressé un bilan négatif des 5 dernières années. Pour cette instance professionnelle « tous les indicateurs sont au rouge et les signes de décrochage s'accumulent » : emplois, accès au marché, attractivité de la profession...

Alors qu'il s'agit pour le LEEM d'un des rares secteurs économiques susceptibles de participer au redressement industriel et social de la France (sic), il se trouve affai-

bli à cause de *coups de rabot budgétaires* qui l'ont successivement affecté, et si la situation continue à se dégrader, l'accès à l'innovation pharmacologique pour tous les Français est en danger. L'industrie pharmaceutique, comme d'autres secteurs de la santé publique, rappelle que le médicament a contribué à la régression de 20 % de la mortalité par maladies non transmissibles (*non communicable diseases* de l'OMS) de 2000 à 2012.

Face à cette situation inquiétante, la campagne électorale doit être l'occasion de proposer pour les Français un vrai projet pour la santé. L'industrie pharmaceutique, à l'occasion de ce constat, a lancé aux candidats un appel à projet intitulé : *Santé : L'heure des choix*. En deux mots, le LEEM suggère au futur président de *faire de la France une terre d'excellence pour la santé au bénéfice du patient et propose aux candidats à l'élection un pacte de mandature avec des propositions très concrètes*.

En bref, le *spleen* de la pharmacie française peut être résumé en quelques chiffres et données. C'est d'une part la régression du

nombre des officines depuis dix ans. Il y avait 22 610 officines en 2005, en 2015 on n'en comptait plus que 21 591 et quelque 2 000 autres pourraient disparaître dans les années qui viennent.

Outre la baisse moyenne du chiffre d'affaires des pharmacies, attribuée à ces autres coups de rabot sur le prix des médicaments, l'avenir serait sombre, avec la baisse du nombre des jeunes diplômés tentés par l'ouverture ou la reprise d'une officine (ils ne seraient que 30 % à le faire) et le vieillissement exponentiel des pharmaciens en activité. Une sorte de « miroir » de ce qu'on constate en médecine : la désaffection pour la médecine générale et le vieillissement démographique de praticiens de terrain... non remplacés.

Les bourgs et villages qui recherchent « leur » médecin pourraient aussi bientôt rechercher « leur » pharmacien... ■■

J.-M. M.

Source : *Healio Infectious Disease*, d'après le congrès ASM Microbe, Boston, 16-20/6/2016.

Stago : STart Max®, un nouvel analyseur de la Génération Max à découvrir

Pour Stago, au-delà d'un changement de *design* pour s'intégrer à la *Génération Max*, l'automate semi-automatique STart Max® a aussi été totalement repensé en termes de fonctionnalités et d'ergonomie.

Ce petit semi-automate a en effet tout d'un grand parmi ses aînés de la génération, à savoir :

- de nouveaux menus de Contrôle de Qualité, de calibration, et un large écran tactile à affichage en couleurs de façon que les utilisateurs tirent profit de l'interface graphique standardisée de la *Génération Max* ;
- du côté des fonctionnalités aussi, tout a été prévu avec une vraie traçabilité, la possibilité d'archiver des résultats des patients, des contrôles, les lots de réactifs utilisés, et une connectique moderne, *via* une connexion possible vers les SIL et/ou le STA Coag Expert, un port USB, enfin une

douchette pour lecture de code-barres. Son *design* en forme de *goutte* est certes un clin d'œil à la lignée des logos de Stago, mais il a surtout été conçu et développé pour améliorer le confort de l'utilisateur, avec par exemple la position des stations d'incubation, de mesure, des réactifs et de la pipette, inclinaison de l'écran...

STart Max® allie donc la modernité à la simplicité, tout comme son prédécesseur, le Start-4®, dont la robustesse avait également fait la réputation de la génération durant plusieurs décennies.

On retrouve ainsi ces semi-automates dans des laboratoires de taille très variable, soit réalisant un faible volume de tests de coagulation, soit utilisés en appui d'analyseurs plus volumineux de la *Génération Max*. Ils peuvent également présenter un intérêt particulier pour les automates d'hémostase à technologie optique, qui nécessitent parfois une méthode alternative pour leurs échantillons problématiques.

© Alexandr Miliuc/Fotolia.com



La production de STart Max® a démarré en août 2016, et les premières installations devraient avoir lieu incessamment, en fonction de l'obtention du marquage CE. Pour en savoir plus, dit Stago aux biologistes, il suffit de contacter votre représentant local Stago. ■■

J.-M. M.

Source : Stago. www.stago.fr

© kieferpix/fotolia.com



© freshidea / Fotolia.com

PXT864, espoir français dans la maladie d'Alzheimer

Pharnext, une biopharmaceutique française (Issy-les-Moulineaux) qui développe des molécules dans le domaine des maladies neurodégénératives, a été invitée à présenter, oralement et sur poster des données de l'étude clinique de phase 2 multicentrique de PXT864, son pléomédicament® proposé dans la maladie d'Alzheimer, au 9^e Congrès d'essais cliniques sur la maladie d'Alzheimer (CTAD), du 8 au 10 décembre à San Diego (Californie).

Deux scientifiques ont fait le déplacement pour cette présentation : le Dr Karim Bennys, du Centre de recherche mémoire sur la maladie d'Alzheimer au CHU de Montpellier, pour commenter un poster : *Neurophysiological Effect of PXT864 in mild Alzheimer's Disease Patients* ; le Dr René Goedkoop, directeur médical de Pharnext, pour sa communication : *36 Weeks of Treatment with PXT864 in Mild Alzheimer's disease: Results from the PLEODIAL Extension Study*.

L'innocuité et l'efficacité de PXT864 ont été évaluées dans l'étude exploratoire PLEODIAL-1 chez 45 patients Alzheimer léger, naïfs de traitement. Trois doses de PXT864 ont été administrées durant 4 semaines, suivies de 4 semaines placebo, puis de 4 semaines où PXT864 a été réinstauré. Les patients ont ensuite eu la possibilité de poursuivre leur traitement durant de 24 semaines dans l'étude PLEODIAL-2. Sur une durée totale de 36 semaines de PLEODIAL 1 et 2, les patients ont reçu PXT864 pendant 32 semaines et ont été autorisés à prendre du donépézil (l'un des traitements symptomatiques autorisés) lors des 12 dernières semaines de l'étude, si leur état le justifiait. PXT864 est une nouvelle combinaison synergique à faible dose de baclofène et d'acamprosate administrée per os deux fois par jour en gélules. PXT864 a été développé pour restaurer l'équilibre entre les voies de signalisation excitatrices et inhibitrices cérébrales de patients souffrant de maladies neurodégénératives (comme celle due au peptide amyloïde β dans l'Alzheimer). La maladie d'Alzheimer est l'indication thérapeutique la plus avancée pour PXT864. Des développements dans d'autres maladies neurodégénéra-

tives dont la maladie de Parkinson et la sclérose latérale amyotrophique (SLA) sont également prévus.

Pharnext est une biopharma fondée par des scientifiques et entrepreneurs tel le Pr Daniel Cohen, pionnier de la génomique moderne, qui a deux produits en développement clinique : PXT3003 est en phase 3 internationale dans la maladie de Charcot-Marie-Tooth de type 1A et bénéficie du statut de médicament orphelin en Europe et aux USA ; PXT864 a obtenu des résultats de phase 2 positifs dans la maladie d'Alzheimer. Pharnext est le pionnier d'un nouveau modèle de médicaments, la pléothérapie®, elle identifie et développe des combinaisons synergiques de médicaments repositionnés à faible dose. Ces pléomédicaments® ont pour avantages efficacité, innocuité et propriété intellectuelle incluant plusieurs brevets déjà obtenus.

La maladie d'Alzheimer est une démence neurodégénérative progressive irréversible, responsable de déficits cognitifs : pensée, mémoire, personnalité, comportement, praxies. Elle s'aggrave progressivement jusqu'au décès. Elle affecte environ 25 millions de personnes dans le monde. Il n'y a pas de traitement curatif, les traitements déjà disponibles sont essentiellement symptomatiques. Il est important de diagnostiquer au stade léger, pour obtenir une meilleure activité thérapeutique, tel que le propose Pharnext. ■■

J.-M. M.

Source : Pharnext (Issy-les-Moulineaux).
www.pharnext.com. pleomédicaments®
et pléothérapie® sont des marques déposées de Pharnext.

BRÈVES

Anticorps-vaccin contre le diabète de type 1

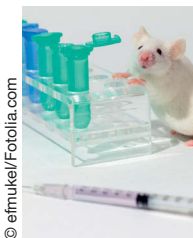
Neovacs, biotech française qui développe des immunothérapies, a débuté les essais précliniques de son vaccin interféron- α kinoïde conçu comme un traitement alternatif du diabète de type 1, essai entrepris avec des équipes françaises du Centre hospitalier Cochin à Paris. L'IFN- α kinoïde produit des anticorps polyclonaux neutralisant l'activité de l'interféron- α . En effet, la surexpression de l'IFN- α est la signature du diabète de type 1, selon Neovacs. L'étude préclinique testera le « vaccin » sur un modèle animal, la souris diabétique non obèse, pour évaluer la capacité neutralisante effective l'IFN- α kinoïde. Selon Miguel Sieler, directeur général de Neovacs, l'implication de chercheurs français dans cet essai confirme l'intérêt que présentent cette technologie et ses potentialités, et accredit la confiance dans le développement de vaccins thérapeutiques qu'on entrevoit avec l'IFN- α kinoïde. Neovacs estime urgent de répondre aux « besoins non satisfaits » dans le domaine du diabète de type 1, avec l'espoir de développer un traitement ciblé pour ce diabète.

www.neovacs.fr

Pneumonie : cherchez la dent

Le mauvais état dentaire favorise le développement de bactéries à risque pour le rein et le cœur. Selon une communication présentée lors de l'ID Week de la Société américaine des maladies infectieuses et autres sociétés savantes en infectiologie, ce serait un facteur de risque de pneumonie (1 million de cas et 50 000 décès annuels aux USA). Dans sa communication, le Dr Michelle Doll (médecine interne et infectiologie, Virginia Commonwealth University) a confirmé qu'il y a bien un rapport documenté entre le mauvais état buccodentaire et l'émergence d'une pneumonie. La bouche ne peut pas être *bacteria free* mais les soins buccodentaires constituent un moyen de réduire sa charge bactérienne. M. Doll et coll. ont analysé les données de plus de 26 000 patients et constaté que ceux qui ne consultent jamais un dentiste ont un surrisque de 86 % de pneumonie bactérienne par rapport à ceux qui voient un dentiste deux fois par an. La pneumonie est plus fréquente en cas de terrain pulmonaire fragile et d'infection à VIH, notamment, les soins buccodentaires devraient faire partie du suivi médical.

Source : HealthDay News.



© efmukel/Fotolia.com



© georgerd/Fotolia.com

USA: Moins chère, l'insuline, SVP, dit l'ADA

Stand up for affordable insulin, c'est le mot d'ordre que vient de lancer l'Association américaine du diabète (ADA) aux médecins américains et autres professionnels de santé. Ce qu'on peut traduire par : levez-vous pour réclamer une insuline à la portée de toutes les bourses (abordable), dans la mesure où l'insuline atteint des prix qui ne sont pas à la portée de tous les diabétiques.

Ces dernières années, en effet, nombre de médecins et d'associations de patients ont protesté contre les prix excessifs des médicaments tels que les pratiquent certains laboratoires pharmaceutiques.

Ici, l'ADA lance une pétition, car, dit-elle, l'insuline n'est pas un luxe, c'est une nécessité pour protéger la vie et la santé. Or le coût de l'insuline augmente à une allure alarmante. Les médecins américains sont invités à réclamer aux laboratoires transparence, accessibilité financière et disponibilité, de façon que nulle personne qui dépend de l'insuline n'ait à se préoccuper de savoir si elle pourra se l'acheter. L'ADA suggère aux professionnels de santé de réclamer aux parlementaires de mener des auditions [des responsables de la montée des prix] pour comprendre cette hausse spectaculaire des prix de l'insuline et d'agir pour que tous ceux qui ont besoin d'insuline aient les moyens d'acquérir ce produit vital. À la manière d'un tribunal présentant ses observations, l'ADA, décline ses attendus.

Attendu que les utilisateurs de l'insuline en ont besoin tous les jours pour sur-

vivre; attendu que les professionnels de santé qui suivent des personnes utilisant l'insuline déterminent le type et la quantité nécessaires pour bien gérer leur diabète et réduire les complications à court et à long terme: cécité, amputation, insuffisance rénale, insuffisance cardiaque, AVC... et décès; attendu que le coût annuel du diabète, du diabète gestationnel et du prédiabète aux USA a atteint 322 milliards de dollars en 2012, 48 % d'augmentation en seulement 5 ans; attendu que le coût de l'insuline a augmenté régulièrement en fragilisant financièrement les sujets qui en ont besoin pour vivre, notamment ceux qui sont mal ou non assurés; attendu qu'entre 2002 et 2013 le prix moyen de l'insuline a presque triplé; attendu que l'insuline est souvent citée comme l'un des médicaments les plus coûteux, en tête de liste des médicaments non génériques; attendu que le prix de l'insuline est en rapport avec une chaîne d'approvisionnement complexe: fabricants, grossistes, pharmaciens, assureurs, officines; attendu que dans la plupart des pays européens l'insuline coûte environ le 1/6^e de ce qu'elle coûte



aux USA; attendu que le coût croissant de l'insuline a fait qu'un nombre croissant de diabétiques disent à leur médecin qu'ils ne peuvent plus acheter l'insuline qui leur a été prescrite, s'exposant ainsi aux complications du diabète...

Une pétition circule à ce sujet sur le site www.stopdiabetes.com/insulin. L'autre aspect du rêve américain...

J.-M. M.

Source: American Diabetes Association.
www.diabetes.org



PLFSS 2017 : on se fera vacciner contre la grippe en pharmacie

La mesure visant à expérimenter la vaccination antigrippale par les pharmaciens a été intégrée par amendement au projet de loi de financement de la sécurité sociale 2017, ou PLFSS 2017, nous avertit l'Ordre des pharmaciens. La version définitive a été adoptée le 5 décembre 2016 à l'Assemblée nationale, à l'issue d'allers-retours entre Assemblée et Sénat, tradition oblige.

En préambule, l'article adopté précise: « Le directeur général de l'Agence régionale de santé peut autoriser, à titre expérimental et pour une durée de 3 ans, l'administration par les pharmaciens du vaccin contre la grippe saisonnière aux personnes adultes ». Suivent les détails administratifs de coutume:

« L'administration par les pharmaciens du vaccin dans les conditions mentionnées au premier alinéa est financée par le fonds d'intervention régional prévu à l'article L.1435-8 du Code de la santé publique. Pour la mise en œuvre de l'expérimentation, il peut être dérogé aux règles de facturation

et de tarification mentionnées aux articles L.162-16-1 et L.162-38 du Code de la sécurité sociale en tant qu'elles concernent les honoraires et rémunérations dus aux pharmaciens par les assurés sociaux et par l'assurance maladie ».

Comme le veut la Loi, « un décret fixe[ra] les conditions d'application du présent article, notamment les conditions de désignation des officines des régions retenues pour participer à l'expérimentation, les conditions de formation préalable des pharmaciens, les modalités de traçabilité du vaccin, les modalités de financement de l'expérimentation et les modalités de rémunération des pharmaciens ». Espérons que le décret sera publié avant l'arrivée de la grippe 2018-2019.

En fait, l'objectif est de rendre opérationnels les pharmaciens-vaccinateurs dès sep-

tembre 2017, c'est-à-dire à l'époque de l'année où le ministère de la Santé présente la composition du vaccin adapté à l'épidémiologie grippale, déterminé mondialement par l'OMS.

L'Ordre des pharmaciens rappelle que ce vote définitif clôt un parcours législatif de plusieurs semaines... mais ne rend pas pour autant effective l'expérimentation de la vaccination par les pharmaciens en officine. Pourquoi ? D'une part, dit l'Ordre, il ne faut pas oublier l'éventuelle remise en cause du principe par le Conseil constitutionnel, saisi par... ? D'autre part, bien sûr, la mise en œuvre ne sera possible que lorsque le décret d'application précisant les modalités de l'expérimentation sera publié.

L'objectif est d'être opérationnel pour la prochaine campagne vaccinale, mais sera-ce le cas ?

« Beaucoup d'entre vous [chers confrères] sont interrogés par des patients qui souhaitent dès à présent se faire vacciner en officine, indique enfin l'Ordre des pharmaciens. Contrairement à ce que certains médias ont annoncé, cela n'est pas encore possible » (cela dit à mi-décembre).

Pourquoi ? Le décret, toujours, destiné à préciser les modalités de l'expérimentation qui doit d'abord être rédigé... et publié. Cela dit, l'autorisation devra ensuite être donnée par le directeur de l'ARS de votre région. Et surtout, vous devrez répondre aux conditions du décret. Être diplômé vaccinateur/vaccinatrice.

In fine, « un rapport d'évaluation est réalisé par le gouvernement au terme de l'expérimentation et transmis au Parlement ». ■

J.-M. M.

Cancer du pancréas : résultats prometteurs de Livatag®

Onxeo, biopharma française spécialisée dans le développement de médicaments orphelins pour maladies rares, notamment oncologiques, a publié des résultats encourageants d'études précliniques évaluant un candidat-médicament du cancer du pancréas : Livatag®.

Livatag® est une formulation galénique nanoparticulaire de doxorubicine d'Onxeo (Doxorubicine Transdrug®), actuellement en évaluation clinique en monothérapie dans un essai de phase 3 en seconde ligne dans le traitement du carcinome hépatocellulaire avancé (CHC ou cancer primitif du foie). Plus des 90 % des patients étaient déjà randomisés début novembre et les premiers résultats sont attendus au premier semestre de 2017.

Onxeo a démarré, dans le cadre de sa stratégie de croissance, un programme d'essais précliniques avec Livatag® pour évaluer son intérêt thérapeutique dans de nouvelles applications, notamment le cancer du pancréas. Dans cette indication, des constats intéressants sont apparus. D'une part une activité de Livatag® deux fois supérieure à celle de la doxorubicine libre sur des lignées de cellules pancréatiques, avec un allongement de la demi-vie plasmatique de la forme

Transdrug®. D'autre part, sur un modèle murin on observe une bonne efficacité dose-dépendante, une concentration importante de Livatag® est retrouvée dans les tumeurs pancréatiques et non dans d'autres organes (cœur, poumon) versus la doxorubicine libre.

Le cancer du pancréas est connu pour présenter une absorption préférentielle, ce qui pourrait expliquer l'effet supérieur de Livatag® comparé à la doxorubicine libre sur les modèles animaux. Ces premières données sur Livatag®, ont justifié la mise en place d'une évaluation comparative de Livatag® avec les traitements standards, soit en monothérapie soit en association. L'étude a montré sur un modèle murin de cancer du pancréas que Livatag® en monothérapie a une efficacité soit comparable soit supérieure à celle des comparateurs, notamment gemcitabine, paclitaxel et erlotinib. De plus, l'étude a montré la possibilité d'associer Livatag® avec ces chimiothérapies, avec une bonne tolérance et un effet additif de la combinaison par rapport à ces 3 agents utilisés seuls.

Onxeo dans le domaine des *cancers orphelins* (rares) dispose d'un portefeuille de produits en développement : Livatag® (Doxorubicine Transdrug®) ; Beleodaq® (belinostat) approuvé par la FDA pour le lymphome à cellules T périphérique (PTCL) ; AsiDNA® : premier d'une nouvelle



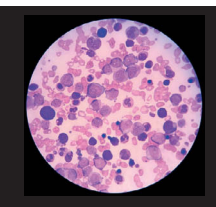
classe de médicaments issu de la technologie siDNA (*signal interfering DNA*), dont une première étude de phase 1 en administration locale dans le mélanome métastatique a établi la *preuve de concept* ; Validive® (Clonidine Lauriad®) : résultats définitifs encourageants de l'essai de phase 2 dans la mucite orale sévère chez des patients atteints d'un cancer de la tête et du cou. ■

J.-M. M.

Source : Onxeo (Paris). www.onxeo.com
www.onxeo.com/en/newsletter/

BRÈVES

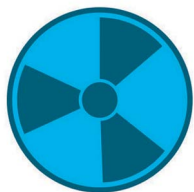
Venclyxto®, nouveau traitement de la LLC



© Chansom Pantip/fotolia.com

La Commission européenne a accordé l'autorisation de mise sur le marché au vénétoclax Venclyxto® (Laboratoires AbbVie) pour le traitement de la leucémie lymphoïde chronique avec délétion 17p ou mutation TP53 d'adultes inéligibles ou en échec d'un inhibiteur du récepteur antigénique des cellules B. Dans un essai clinique de phase 2 de chez 107 patients atteints de LLC avec une délétion 17p préalablement traités, le taux de réponse globale (TRG) était de 79%. Venclyxto® est le premier inhibiteur autorisé en Europe de la classe des inhibiteurs sélectifs de la fonction de la protéine BCL-2. BCL-2 bloque l'apoptose de certaines cellules, notamment les cellules touchées par la LLC. La délétion 17p, altération génomique avec une partie du chromosome 17 manquante, touche 3 à 10 % des LLC non préalablement traitées et jusqu'à 30 à 50 % des LLC en rechute ou réfractaires. La mutation TP53 touche 8 à 15 % des patients en traitement primaire et 35 à 50 % des LLC en rechute ou réfractaires. Les patients porteurs de délétion 17p ou de mutation TP53 ont souvent un pronostic sombre et une espérance de vie médiane inférieure à 2 à 3 ans.

Centrales nucléaires: moderniser plutôt que fermer



© ggrgrop/fotolia.com

Le risque nucléaire pour les Français et l'environnement ne serait plus à l'ordre du jour, selon EDF l'État aurait donné son accord pour moderniser les centrales nucléaires et porter la durée de vie de 40 à 50-60 ans, « sous réserve que la sécurité nucléaire soit garantie ». Interrogé par un sénateur, le ministre de l'Environnement admet qu'il sera nécessaire de prolonger au-delà de 40 ans la durée de vie de certains réacteurs pour notre sécurité de production d'électricité. Ce sera une opportunité économique pour la France : ces centrales auront été amorties et produiront de l'électricité avec des investissements inférieurs à ceux nécessaires pour de nouvelles installations [qui coûtent plus cher à construire ?]. En vertu de la *transition énergétique pour la croissance verte* ce gouvernement a prévu de réduire la part du nucléaire de 75 à 50 % dans la production d'électricité. En ce qui concerne les énergies renouvelables, l'objectif très ambitieux annoncé en novembre 2015 vise à les multiplier par 2,5 d'ici à... 2025, hors hydroélectricité. D'ici là, on aura bien encore besoin du nucléaire...

Prélèvement d'organes: si vous êtes contre, il faut le signaler

À l'origine, quand se sont développées les transplantations d'organes, il semblait acquis que toute personne décédée dans des conditions permettant d'utiliser ses organes en vue de greffe devenait *ipso facto* un *donneur*... dans la mesure où, de son vivant, elle n'avait pas exprimé son opposition à tout prélèvement après sa mort.

Pour éviter des prélèvements non justifiés, en l'absence d'informations de la famille survivante, on a officiellement recommandé aux Français d'en parler... en famille! Puis fut proposée une solution plus simple: le Registre des refus, sur lequel s'inscrire de son vivant. Après adoption de la loi de modernisation du système de santé du (26/1/2016), l'Agence de la biomédecine a organisé une campagne d'information sur la législation du consentement présumé au prélèvement d'organes et les modalités de son refus. À partir du 1^{er} janvier 2017, l'inscription sur le *Registre national automatisé des refus de prélèvement*, géré par l'Agence de la biomédecine, devient le moyen d'expression *recommandé* pour faire connaître son opposition au prélèvement d'organes.

Ce rappel se justifiait car ce n'est pas un sujet dont on débat tous les jours en famille! La demande d'inscription sur le Registre national s'effectue sur papier libre ou en remplissant le formulaire à disposition sur le site de l'Agence (www.agence-biomedecine.fr, www.dondorganes.fr). Cette demande est à adresser à l'Agence, accompagnée d'un justificatif d'identité (carte nationale d'identité, passeport, permis de conduire ou titre de séjour).

Toutefois, d'autres moyens d'expression du refus de prélèvement d'organes demeurent. Une personne peut exprimer son refus par écrit et confier ce document à un proche qui le remettra à l'équipe de coordination hospitalière de prélèvement si la situation se présente.

Et en l'absence d'écrit, un proche peut aussi faire valoir l'opposition au don d'organes qu'une personne a manifestée expressément de son vivant.

Bien entendu, le refus de prélèvement des organes est *révisable et révocable*. L'équipe de coordination hospitalière de prélèvement prend en compte l'expression de volonté la plus récemment exprimée à un proche. Dernier point technique: le refus de prélèvement peut concerner l'ensemble des organes et des tissus ou seulement certains d'entre eux.

On peut se référer dans aux textes officiels récemment parus: décret du 11/8/2016 relatif aux modalités d'expression du refus de prélèvement d'organes après le décès¹; loi du 26/1/2016 de modernisation de notre système de santé (article 192)². Par ailleurs, d'autres entrées (un peu dispersées...) donnent des informations: www.agence-biomedecine.fr/La-loi-evolue www.agence-biomedecine.fr/IMG/pdf/cplegislationdondorganes2016.pdf www.registrenationaldesrefus.fr ■■

J.-M. M

Sources: Direction de l'information légale et administrative; Agence de la biomédecine
1. JO du 14/8/2016, www.legifrance.gouv.fr
2. https://www.legifrance.gouv.fr/eli/loi/2016/1/26/AFSX1418355L/jo/article_192



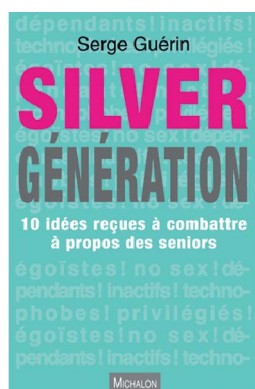
agence de la biomédecine

LIVRES

Silver Génération

10 idées reçues à combattre à propos des seniors

Si l'allongement de la vie et l'augmentation des sujets âgés sont des données connues, plein d'idées reçues sur les seniors persistent : déficit du financement des retraites, dépendance des plus âgés, coût de la prise en charge... Dans ce petit livre, l'auteur décrypte dix lieux communs sur cette *Silver Génération* (allusion aux cheveux gris argent des seniors)... Ils nous coûtent de l'argent avec leur retraite qu'ils dépensent au soleil, sont incapables de se débrouiller seuls, se moquent bien de la planète et méprisent la jeune génération... Les seniors seraient-ils devenus le nouveau fardeau de notre société ? Si l'allongement de la vie et la hausse du nombre de personnes âgées en France sont des données connues, toutes sortes d'idées reçues sur les seniors persistent, et on ne cesse de présenter cette nouvelle donne démographique sous un



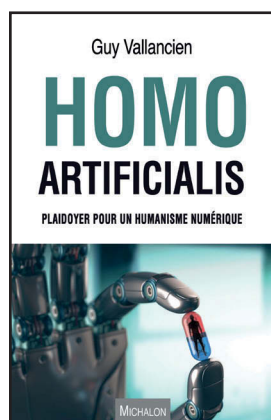
angle négatif : déficit du financement des retraites, dépendance des plus âgés, coût de la prise en charge... Clair et didactique, l'auteur décrypte des lieux communs telle la dépendance : non, les seniors ne sont pas tous dépendants, ne sont pas tous réfractaires aux nouvelles technologies, non, tout ne s'arrête pas le jour de la retraite ! La *Silver Génération*, loin d'être un *déclin*, serait la porte d'entrée de la modernité et du renouveau et la base d'une société adaptée aux évolutions de demain. Professeur à la *Paris School of Business*, est spécialiste des questions du vieillissement de la société. Il a publié une vingtaine d'ouvrages, dont *La Nouvelle société des seniors* (Michalon, 2011). ■■

Serge Guérin. 154 p. Éditions Michalon.
www.michalon.fr

Homo Artificialis

Plaidoyer pour un humanisme numérique

Réparer l'homme, oui ; l'augmenter, pour quoi faire ? Si, en matière de connaissance, il est *interdit d'interdire*, en matière de manipulation, il peut s'avérer nécessaire de refuser certaines retombées des découvertes retombées de nos laboratoires et de nos observations. Pour l'auteur, chirurgien émérite, le transhumanisme éclairé s'appuiera sur 5 piliers indissociables : partager les informations afin de décider en conscience des enjeux qui concernent notre avenir commun ; participer activement et sans état d'âme au développement de l'intelligence artificielle et à la construction des robots, à condition qu'*Homo Artificialis* soit seulement adapté à nos besoins ; soulager et réparer ceux qui subissent maladies, trauma-



tismes physiques, psychiques et sociaux innombrables ; refuser catégoriquement les dérives qui tendraient à augmenter l'Homme au seul bénéfice d'un surcroît de puissance et de longévité ; enfin promouvoir l'éducation nécessaire pour être en capacité de décider au-delà des seules opinions fluctuantes et irrationnelles. L'auteur mène une réflexion éthique et philosophique sur les dérives de la robotique médicale et signe un essai érudit qui plaide pour un nouvel humanisme articulé

autour de l'*objet numérique à intelligence supérieure* : l'*Homo Artificialis*. ■■

Guy Vallancien. 208 p. Éditions Michalon.
www.michalon.fr

AGENDA

mars-mai 2017

Pittcon Conference/Expo

5-9 mars 2017

Atlanta

www.pittcon.org

ArabLab

20-23 mars 2017

Dubai

www.arablab.com

Société française d'informatique de laboratoire

9-10 mars 2016

Chambéry

www.sfil.asso.fr

Microbiology Society Conference

3-6 avril 2017

Edimbourg

www.microbiologysociety.org

ISN/World congress of nephrology

21-25 avril 2017

Mexico

www.theisn.orgECCMID/European congress of clinical microbiology & infectious diseases
European society of clinical microbiology & infectious diseases

22-25 avril 2017

Vienne (Autriche)

www.eccmid.org/eccmid_2017

Skin allergy meeting/ESCD

27-29 avril 2017

Zürich

www.eaaci.org/sam2017

ISCT 2017

International society of cell therapy

3-6 mai 2017

Londres

www.celltherapysociety.org - @ISCTglobal

ISLH/International society of laboratory hematology

4-6 mai 2017

Honolulu

www.islh.org

Paris Healthcare Week

16-18 mai 2017

Paris/Porte de Versailles

www.pgpromotion.fr



ADHD: découverte de l'implication de la génétique

Dénommé ADHD par les cliniciens anglo-saxons (*attention deficit and hyperactivity disease*), le déficit d'attention avec hyperactivité, se remarque dès l'enfance – notamment à l'âge scolaire – mais peut aussi se prolonger chez l'adulte. Une étude américaine sur un modèle murin attribue l'ADHD à un terrain génétique.

Deux équipes du Centre médical Langone de l'Université de New York et du *Massachusetts Institute of Technology* (MIT, Boston), menées par le Dr Michael Halassa (Langone), ont cherché sur la souris à identifier la délétion de certains gènes, ce qui a permis de comprendre comme celle-ci perturbe les circuits neuronaux qui filtrent habituellement les stimulations sensorielles entrantes superflues, tels les bruits de fond de l'environnement, de façon que le cerveau se concentre sur les informations les plus importantes. Cette découverte suggère qu'un tel défaut dans ce circuit de sélection des informations pourrait engendrer des perturbations de l'attention constatées dans différentes perturbations des comportements humains et de quelle façon pourraient être envisagés des traitements correctifs... Environ 1 % des sujets affectés de troubles du spectre autistique (TSA) et de déficits intellectuels sont porteurs d'une mutation du gène *PTCHD1* (*patched-domain containing protein1*). Ces sujets expriment des symptômes qui incluent un déficit de l'attention, une hyperactivité, des perturbations du sommeil, un faible tonus musculaire et des difficultés d'apprentissage.

Le gène *PTCHD1* est exprimé/actif dans le thalamus, dans cette aire du cerveau impliquée dans le traitement des informations sensorielles, le contrôle moteur et le sommeil. Les chercheurs de New York et Boston ont constaté que dès le développement précoce ce gène est sélectivement exprimé dans une zone du thalamus dénommée nucléus thalamique réticulé (TRN). Ce TRN, expliquent-ils, est composé d'un ensemble de neurones inhibiteurs qui relaient en les régulant les informations sensorielles du thalamus vers le cortex où les fonctions cognitives

majeures, la pensée et la prise de décisions sont concentrées.

Pour déterminer de quelle façon des modifications du gène *PTCHD1* altèrent la fonction du TRN et l'attention les investisseurs ont délété sélectivement *PTCHD1* (gène *knock-out*) seulement dans le TRN – une délétion globale, expliquent-ils, résulterait en déficits plus larges et plus sévères par rapport à la délétion ciblée. Les souris privées de ce gène expriment un déficit de l'attention, une hyperactivité,

Au niveau du nucléus thalamique réticulé, un filtre permettrait de se concentrer sur une seule tâche à la fois.

des troubles du sommeil, ce qui suggère une origine de ces comportements issus du TRN.

Le déficit de l'attention n'est pas alors un déficit général de l'attention, mais une incapacité à filtrer, à écarter en quelque sorte les éléments de *distracted* de la tâche en cours, précisent les auteurs. Les souris-modèles ont ainsi une difficulté à accomplir les tests destinés à tester leur capacité (*ability*) à accomplir une tâche (exemple cité : réagir à un signal lumineux pour obtenir une récompense) en étant distraites (*distracted*).

Pour évaluer, au niveau moléculaire, de quelle façon la perte du gène altère les fonctions du TRN, les investisseurs ont étudié l'activité électrique des neurones qui le composent. Il leur a été possible de noter un changement d'activité des canaux potassiques transmembranaires (*SK channels*) et d'en inférer que l'échange transmembranaire d'ions détermine une condition : le comportement « électrique » des neurones. Ils ont pu confirmer le rapport entre les canaux potassiques et l'activité du TRN en mesurant en temps réel l'activité inhibitrice des neurones du TRN. Les souris porteuses

du gène délété (mais non les souris avec un gène non délété) ont une activité inhibitrice du TRN réduite au signal lumineux. En retenant que les canaux du potassium sont impliqués dans les modifications d'origine génétique de l'activité du TRN, cela suggère l'existence d'une cible pour... en restaurer la fonction. Les auteurs ont ainsi traité les souris avec le gène *PTCHD1 knock-out* avec un stimulant des canaux potassiques. Ceci a permis de corriger le déficit de l'attention et l'hyperactivité des animaux, rapportent-ils. Envisager le développement de médication restaurant la fonction des canaux potassiques pourrait ainsi fournir un moyen dans le futur pour traiter les symptômes qui prennent leur origine dans les circuits neuronaux identifiés par les investisseurs.

Si ce travail remarquable fournit des clés quant aux effets de la mutation du gène *PTCHD1* chez l'enfant ADHD avec retard intellectuel, il apporte aussi des informations sur un circuit cérébral dont les perturbations peuvent expliquer les symptômes de divers troubles neurodéveloppementaux et psychiatriques. La difficulté de filtrer des informations extérieures entrantes a des implications sur la capacité de concentration et d'apprentissage, aussi bien qu'à gérer les expériences sensorielles quotidiennes, ce qui est difficile pour les sujets ADHD. Les investisseurs estiment avoir contribué à une meilleure compréhension du système de traitement des informations sensorielles par le cerveau, un dommage-clé dans les TSA et l'ADHD, qui peut affecter de façon importante les fonctions cognitives, telle l'attention et la prise de décision. Chez l'Homme (et l'animal) l'impossibilité de se concentrer peut conduire à des problèmes de mémoire et d'apprentissage à long terme. ■

Wells MF, Wimmer RD, Schmitt LI, Feng G, Halassa MM. Thalamic reticular impairment underlies attention deficit in Ptcld1Y^{-/-} mice. Nature. 2016 Mar 23. doi: 10.1038/nature17427. Epub ahead of print.

Résidus de médicament dans l'eau

ICRAPHE a été un succès, selon l'Académie nationale de pharmacie qui organisait cette Conférence internationale sur l'évaluation des risques liés aux [résidus de] médicaments dans l'environnement (*International conference on risk assessment of pharmaceuticals in the environment*), et qui a réuni pour la première fois à Paris, pendant deux jours, 250 experts de plus de 30 pays, pour évaluer les risques de ce problème sur l'environnement et la santé humaine. La conférence s'est déroulée sous le patronage conjoint des deux ministres concernées, Ségolène Royal pour l'Environnement, qui a fait l'annonce du lancement de son Plan sur les micropolluants 2016/2021 (la France montre la voie ici) et Marisol Touraine pour la Santé.

La maîtrise des résidus de médicaments dans les eaux libres et les eaux d'adduction est un problème de santé publique depuis plusieurs années, qu'il concerne l'Homme ou les organismes vivant dans les eaux libres : ruisseaux, fleuves, lacs, zones maritimes (poissons, mollusque), et dans certains sols.

Dans une récente publication de la Lettre de l'Académie nationale de pharmacie, le Pr Yves Levi a parfaitement résumé l'enjeu de ce problème : continuer à garantir à l'Homme l'accès aux traitements conformes à l'avancée de la science pharmacologique mais réduire autant que se peut ces résidus de produits actifs dans l'environnement... qui subit d'autres pollutions que celle-ci.

Car si les médicaments, dit-il, sont indispensables à la promotion de la santé publique et à l'augmentation de l'espérance de vie, les traitements, humains et vétérinaires, disséminent dans l'environnement leurs principes actifs et leurs métabolites via les effluents des élevages, de l'industrie pharmaceutique et des eaux usées communales contaminées par les rejets des établissements de soins, les traitements à domicile et les

médicaments non utilisés (les MNU à rapporter en pharmacie).

Comme l'ont décrit les nombreuses communications d'ICRAPHE, ces résidus : anti-inflammatoires, antibiotiques, antalgiques, anti-épileptiques et produits de contraste pour diagnostics en imagerie... s'ajoutent aux autres polluants (pesticides, plastifiants, retardateurs de flamme, solvants, hydrocarbures, détergents, biocides...), avec des taux d'élimination très variables selon les molécules et les technologies des stations d'assainissement... lorsqu'elles existent, souligne Y. Levi.

Avec le traitement des eaux usées, favoriser la biodégradabilité des nouveaux médicaments est un objectif de recherche.

Les concentrations détectées dans les cours d'eaux sont très faibles, rendant l'évaluation des risques d'autant plus complexe qu'on constate à la fois une diversité des effets et des expositions chroniques. Il serait absurde, ajoute le Pr Levi, de vouloir doser les 4 000 molécules actives actuellement recensées, à moins de les hiérarchiser pour repérer de possibles indicateurs de risque.

Leur évaluation biologique est-elle possible ? Pour le Pr Levi, le dosage biologique de leurs effets se heurte aussi à leurs différences, aux faibles concentrations, aux interactions avec la variété des autres polluants et de la biodiversité environnementale avec des écosystèmes interactifs, très difficiles à reproduire en laboratoire.

Rien n'est perdu, pourrait-on dire. Yves Levi le dit, la connaissance de la contamination des masses d'eau de tous les continents progresse, des effets sont observés sur des modèles

animaux même à très faible dose, et les premiers calculs montrent des risques plus significatifs pour l'environnement que... pour la santé publique ! Mais au-delà de ce bilan prometteur, ICRAPHE a surtout démontré l'urgence d'une prise de conscience collective à tous les niveaux.

Certes, nous rassure cet expert, la technologie progresse, mais si le traitement des eaux usées par une combinaison ozone/charbon actif est validé, son coût reste élevé [pour certains pays] et sa généralisation n'est pas toujours justifiée. Favoriser la biodégradabilité des nouveaux médicaments est un autre objectif de recherche, ajoute-t-il...

En attendant, il nous faut limiter les rejets les plus dangereux, mieux traiter les rejets industriels et les eaux usées les plus contaminées, limiter les épandages de boues agricoles contaminées, améliorer l'hygiène par l'accès à l'eau potable. Il faut aussi renforcer les actions de prévention pour éviter les maladies, réduire le recours excessif aux antibiotiques chez l'Homme et les animaux, éviter prescriptions et automédications abusives.

Et convaincre la population de rapporter les médicaments non utilisés dans les pharmacies pour être détruits par l'association Cyclamed, insiste le Pr Yves Levi.

Enfin, plaide-t-il, les chercheurs doivent accéder plus facilement aux données toxicologiques et de métabolisation ainsi qu'aux masses de ventes par bassin versant pour pouvoir évaluer les risques à leur juste mesure. C'est une des promesses majeures de Ségolène Royal qui, en choisissant ICRAPHE pour dévoiler le 2^e Plan micropolluants, a fait savoir à la communauté internationale d'experts et de chercheurs, réunis pour la première fois à Paris, que la France ne devait pas rester le seul pays doté d'un plan national sur le sujet ! ■■

L'Observatoire, lettre de l'Académie nationale de pharmacie, N° 38, octobre 2016

Criminalistique

Sciences forensiques et biologie

Professeur Paul Lafargue ^a

Président du Conseil scientifique



© E. Gaudry

AVANT-PROPOS

Il y a maintenant bientôt 25 ans, le numéro d'octobre 1993 de la *Revue francophone des laboratoires* était entièrement consacré à de nouvelles disciplines de la biologie, disciplines appliquées à une activité scientifique en pleine expansion : la criminalistique que l'on appelle aujourd'hui sciences forensiques (de l'anglais *forensic*, équivalent de *médecine légale*).

À l'époque, directeur de l'Institut de recherche criminelle de la gendarmerie nationale (IRCGN), nous avons pensé que nos collègues biologistes médicaux, qu'ils exercent en milieu public ou privé, ne pouvaient qu'être intéressés par des articles concernant le développement et la mise en œuvre de l'entomologie, de la thanatologie ou de la reconstitution faciale, pour ne citer que quelques applications de ce nouveau et vaste domaine scientifique mis à la disposition de la justice.

* Correspondance

Lafargue.pm@wanadoo.fr

En effet, chacun s'accorde à reconnaître que, de nos jours, l'intime conviction du magistrat n'est plus suffisante pour instruire et conclure un dossier et que des preuves scientifiques auraient très vraisemblablement, si elles avaient été alors disponibles, évité ce qui nous paraît être aujourd'hui des erreurs qui ont porté alors préjudice à la crédibilité de la justice.

Force est de reconnaître que les sciences forensiques sont devenues de nos jours incontournables, du début de l'enquête sur la scène de crime jusqu'au rendu du verdict et, bien entendu, tout au long de l'instruction.

Mais, aujourd'hui, ces disciplines ne se limitent plus simplement à résoudre les problèmes concernant la justice. En effet, les événements dramatiques qu'ont été, en particulier, le tsunami en Asie du Sud-Est, le tremblement de terre à Haïti, et plus récemment, dans notre pays, le crash de l'Airbus de la Germanwings, l'accident de car à Puisseguin ou les épouvantables et horribles attentats du Bataclan et de Nice, ont mis à l'honneur l'IRCGN qui a été fortement impliqué dans ces douloureux et pénibles événements.

© 2017 – Elsevier Masson SAS – Tous droits réservés.

Aussi, compte tenu du succès rencontré par le premier numéro de la *RFL* consacré à une partie de ces disciplines, il a paru intéressant de coordonner un nouveau numéro entièrement consacré à la spécificité des sciences forensiques.

Pour ce faire, le Colonel Patrick Tournon, actuel directeur de l'IRCGN, a bien voulu nous aider à élaborer un nouveau numéro spécial, dont le contenu puisse intéresser nos lecteurs et satisfaire leur légitime curiosité.

En effet, il nous a fait parvenir, grâce au Commandant Grégory Briche qui s'est chargé de la coordination, six projets d'articles d'excellente facture que le Comité de lecture de notre revue a acceptés pour publication.

Il a été nécessaire d'effectuer un choix concernant les sujets traités dans ce numéro, compte tenu de la diversité des activités de l'Institut qui traite plus de 500 dossiers journalièrement et dont une équipe d'experts œuvre quotidiennement en métropole ou à l'étranger pour aider les enquêteurs à résoudre les problèmes auxquels ils sont confrontés.

Sommaire thématique

- Le modèle forensique de l'IRCGN... **p. 25**
- Recherche des causes toxiques de la mort **p. 35**
- L'identification de victimes de catastrophe : une approche scientifique pluridisciplinaire **p. 41**
- De la biologie naturelle à la biologie moléculaire **p. 58**
- ADN, une perpétuelle avancée **p. 67**
- L'expertise des accidents routiers au sein du département véhicules de l'IRCGN **p. 77**
- Les produits de marquage codés **p. 90**
- QCM **p. 96**

La coordination de ce dossier a été assurée par le Pr Paul Lafargue, Président du Conseil scientifique de la RFL.

Le modèle forensique de l'Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale (IRCGN)

Colonel Patrick Touron^a

RÉSUMÉ

Aveux et témoignages ont longtemps été suffisants pour convaincre les magistrats et un jury. Actuellement, c'est l'exploitation scientifique des indices qui constitue la base de toutes les investigations sur les scènes d'infraction. Afin de s'adapter à ce changement, la gendarmerie nationale a construit une chaîne criminalistique, reposant sur des spécialistes, formés à la détection et au prélèvement de ces indices. Afin d'analyser ces échantillons, l'Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale (IRCGN) est créé en 1987. La délivrance de résultats fiables repose sur la compétence des experts. Pour cela, et compte tenu de la grande variété des techniques et des savoirs à détenir par les experts servant au laboratoire, la politique de recrutement et le suivi du déroulé de carrière sont individualisés. Outre la nécessité de disposer d'un bon niveau scientifique initial, il faut aussi avoir envie de travailler au plus près des scènes de crime, à côté des enquêteurs. La compétence des experts fait donc naturellement, l'objet de contrôles réguliers au travers la norme d'accréditation des laboratoires ISO 17025, de même que les méthodes employées et l'interprétation des résultats fournis. L'essentiel de l'activité de l'IRCGN consiste ainsi à exploiter et donc analyser les nombreux indices qui lui sont transmis, mais aussi à envoyer des équipes d'experts sur le terrain pour en prélever sur les scènes d'investigations, tout en rédigeant des rapports où ces résultats sont interprétés selon l'environnement de leur découverte, afin d'être exploitables au procès pénal.

**Criminalistique – expertise – gendarmerie nationale – justice –
management – organisation – science forensique.**

1. Introduction

L'IRCGN est un Institut de sciences forensiques, construit dans l'environnement organisationnel de la gendarmerie nationale, qui pratique l'expertise judiciaire et qui conduit des travaux de recherches appliquées ou expérimentales [1]. Il est original par la richesse de sa pluridisciplinarité technique et d'expertise localisée sur un même site, par sa capacité de projection, en

^a Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale (IRCGN)

Caserne Lange
5 boulevard de Lhautail
TSA 16808
95037 Cergy Pontoise cedex

Correspondance

patrick.touron@gendarmerie.interieur.gouv.fr

article reçu le 30 août 2016, accepté le 30 septembre 2016.

© 2016 – Elsevier Masson SAS – Tous droits réservés.

SUMMARY

Gendarmerie Forensic Institute method

In the past, confession and testimonies were sufficient to convince magistrates and member of the jury. Nowadays, the scientific evidence has become a basic element for criminal investigations. In regards of this evolution, the gendarmerie has created a "criminalistic chain" based on criminal investigations specialists in charge of collecting samples from crime scenes. A specific unit dedicated to the analysis of these samples has been created in 1987 and named Gendarmerie Forensic Institute (IRCGN: Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale).

Competence is a fundamental requirement to produce reliable products. The great diversity of the scientific and technical specialities operated in the Institute requires a highly individualized recruitment amongst the candidates who have not only to account of exclusive skills but also of a great interest in the forensic police field. The competence of officers is tested regularly under ISO 17025 accreditation norm, together with the validity of the method used, particularly in the interpretation of the results. For forensic Institutes the core products comprise – among others- the collection of evidence at the crime/incident scene, analysis of seized material, interpretation of the analytical results or other findings and expert reports where the activities and findings are summarized and evaluated.

**Criminalistic – expertise – National Gendarmerie –
justice – management – organization – forensic science.**

quelques heures, de gendarmes experts en tout point du globe, mais aussi par sa capacité à s'intégrer dans une chaîne opérationnelle gendarmerie [2] ou alors d'intégrer d'autres spécialistes gendarmerie dans ses équipes. Sa naissance s'est opérée à partir du constat d'un manque de capacité dans l'exploitation des indices découverts sur les scènes de crime ? [3] l'IRCGN a su, progressivement, construire une identité forte marquée au sceau de la rigueur scientifique, de la fiabilité de ses résultats au travers son processus d'assurance qualité [4], de la capacité d'offrir un appui opérationnel solide et adapté, et de la faculté d'innovation et de créativité continue. Les habilitations « confidentiel défense » ou

« secret-défense » détenues par ses experts dans tous les domaines forensiques, lui permettent de conduire des investigations scientifiques classifiées pour des raisons de sécurité nationale.

Le besoin de scientifiques capables d'enrichir les débats du procès pénal, par des démonstrations ou l'explicitation des résultats de leurs analyses, est ancien [5]. Les sciences forensiques regroupent toutes les sciences qui sont sollicitées lors de l'exploitation d'indices ou d'éléments de preuve découverts sur des scènes d'investigation et dont les résultats d'analyses contribueront à éclairer une juridiction. On distinguera la recherche d'une vérité scientifique, qui ne fera qu'encadrer une vérité incertaine, de la décision de justice, qui arrêtera une vérité judiciaire. Pour être scientifique, les méthodes doivent reposer sur des bases théoriques reconnues, être réfutables, être publiées, avoir une incertitude connue et ne pas être dogmatiques ou hermétiques. Ainsi si l'on considère une scène d'infraction type, des enquêteurs spécialisés sont appelés postérieurement aux faits, et vont procéder à des prélèvements techniques et scientifiques d'objets ou de matières afin de tenter de reconstituer les faits à partir des effets observés et de les expliciter. Cette démarche consistant à remonter à partir de constats aux causes les ayant générés est complexe [6]. Les enquêteurs procéderont à un examen approfondi de la scène d'investigation, ils la figeront avant toute modification afin de ne pas l'altérer, effectueront des prélèvements selon des processus normalisés, en assureront la préservation par un conditionnement adapté, demanderont leur analyse sur des plateaux criminalistiques ou dans des laboratoires spécialisés privés ou publics. Les résultats scientifiques obtenus seront alors à re-contextualiser au regard des autres éléments d'enquêtes ou issus de cette scène d'investigation [7].

Les sciences étant par définition en continuelle progression, il est impératif de mettre à jour ses connaissances et de toujours innover pour ne pas prendre de retard, ou de ne pas induire en erreur l'utilisateur final qu'est la justice. Les sciences forensiques appliquent le même schéma et l'IRCGN forme en permanence ses personnels et contribue ainsi à la mise au point d'innovations du fait de sa proximité opérationnelle avec les techniciens en investigation criminelle de la gendarmerie, mais aussi de sa pluridisciplinarité [8].

2. La naissance d'une structure forensique indépendante au sein de la gendarmerie nationale

Les années 80 marquent un tournant dans l'investigation criminelle en France, avec la découverte bien tardive, au regard de ce qui se pratique à l'époque dans le monde anglo-saxon, du besoin d'exploiter scientifiquement l'ensemble des indices présents sur une scène d'investigation (terme plus général et plus proche de la réalité que celui de « scène de crime »). Cette prise de conscience d'une exploitation scientifique holistique d'une scène d'infraction est devenue nécessaire, dès que les enquêteurs et les magistrats ont voulu comprendre le déroulement des faits et en identifier les acteurs,

sans dépendre de témoignages fragiles ou changeants. L'opposition, trop souvent faite, entre « religion de l'aveu » et « preuve d'origine technique et scientifique », n'est, en réalité, que le révélateur d'une méconnaissance de ce qu'est la recherche de la vérité, *a posteriori*, lors d'une enquête judiciaire. En réalité, ces deux dimensions de l'enquête, portées par des acteurs de culture différentes, s'appuient l'une sur l'autre et viennent comme une tenaille circonscrire au plus près la vérité. Elles ne doivent pas se concevoir comme des concurrentes mais comme complémentaires.

2.1. Le diagnostic

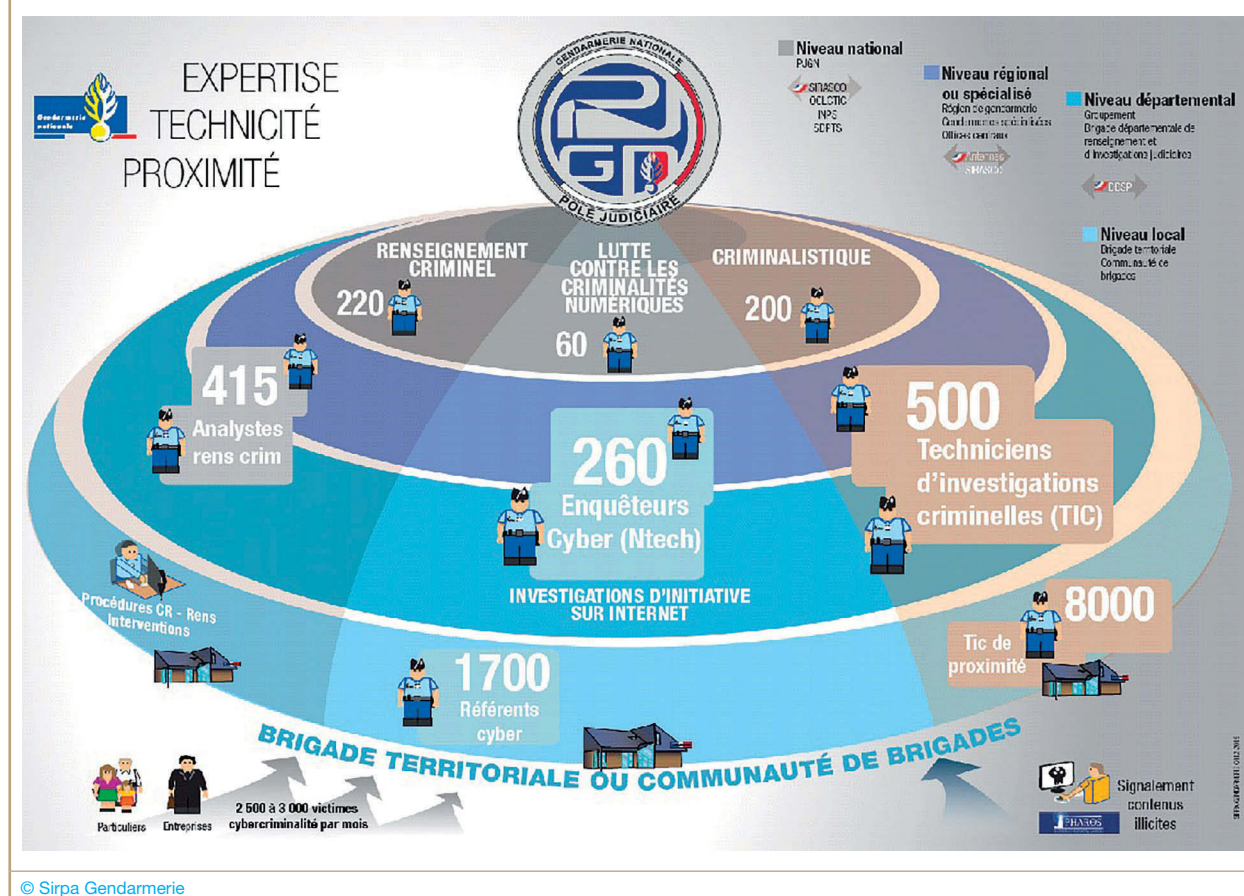
La gendarmerie nationale, confrontée à des difficultés d'origines structurelles, de disponibilités d'experts ou de capacités expertales, lors d'enquêtes dont elle a la charge [9], décide, courageusement à l'époque, de réagir en conduisant une stratégie globale de résolution de ces difficultés. Le constat qu'elle fait est sans concession, il va de la difficulté à exploiter méthodiquement et rigoureusement les indices présents sur une scène d'investigation, à l'absence de disponibilités de spécialistes et d'experts pouvant assister ses enquêteurs, dans la phase de constatation. Le constat souligne en effet l'absence de connaissance technique des enquêteurs qui ne savent pas forcément quoi chercher ou quoi demander. La démarche en sept points, qui paraît si naturelle aujourd'hui à tout téléspectateur éduqué par les séries télé, d'entendre et de confronter les témoignages des différents acteurs, de protéger une scène d'investigation, de rechercher systématiquement les indices matériels, de les prélever avec des instruments adaptés, de les préserver le temps de l'acheminement jusqu'au laboratoire, de les analyser en tenant compte de l'environnement de la découverte, et enfin de pouvoir conclure sur l'information portée, après la nécessaire contextualisation au travers de l'étude causes et effets, n'est finalement que très récente.

Après avoir établi ce diagnostic, la gendarmerie va conduire de nombreuses réformes et créer, progressivement, mais systématiquement, des unités spécialisées, nouvelles et nécessaires. Elle le fera en conservant une culture « gendarmerie » qui constitue son ciment fonctionnel, et de manière assez surprenante, sans copier les structures existantes. Elle adaptera les outils nouveaux à son organisation, en leur imposant cette nécessité d'être disponible pour tous, en tout point du territoire, à tout moment, d'être intégrable à toutes ses unités et de couvrir les périmètres englobant les sept points supra.

2.2. Structuration de l'édifice basée sur des hommes

En 1987 ce sera la création de la section technique d'investigation criminelle (STIC), qui donnera naissance en 1991 à l'Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale (IRCGN) qui reçoit les missions de l'exploitation de tous les indices matériels, d'être projetable, d'enseigner aux agents préleveurs et d'effectuer une recherche appliquée. Afin de dégager des synergies et de coordonner tant la chaîne criminalistique de la gendarmerie nationale que celle du renseignement, sera créé en 2012, le pôle judiciaire de la gendarmerie nationale (PJGN) [10]

Figure 1 – Schéma d'organisation technique de la chaîne police judiciaire.



regroupant le service central du renseignement criminel et l'IRCGN. Le besoin d'enquêteurs spécialisés, disposant de formations et de connaissances spécifiques, techniques et juridiques, entraînera la naissance d'offices spécialisés en gendarmerie.

Cette organisation nécessite de disposer de scientifiques de haut niveau que la gendarmerie trouvera dans ses rangs, officiers ou sous officiers ou auprès du service de Santé des armées. Une politique de recrutement de scientifiques dans les domaines très variées des sciences forensiques allant de la chimie à l'informatique en passant par la biologie ou l'anthropologie sera conduite énergiquement, du fait du statut militaire de l'arme qui autorise des concours ouverts aux scientifiques titulaires au minimum d'un master ou d'un titre d'ingénieur.

Ce sont actuellement près de 230 scientifiques de tous domaines qui arment l'IRCGN dont environ 1/4 de docteurs, 1/3 de masters ou ingénieurs et le reste en niveau licence ou techniciens.

Dès qu'il sera recruté, un officier scientifique destiné à service à l'IRCGN sera formé, comme tout autre officier, à l'École des officiers de la Gendarmerie Nationale (EOGN) à la culture gendarmerie et aux savoirs faire métier. Puis il intégrera un département de son domaine d'compétence où il suivra une formation d'apprenti expert, puis d'expert de son domaine de compétence scientifique à l'issue de travaux de recherche qu'il devra assurer durant sa

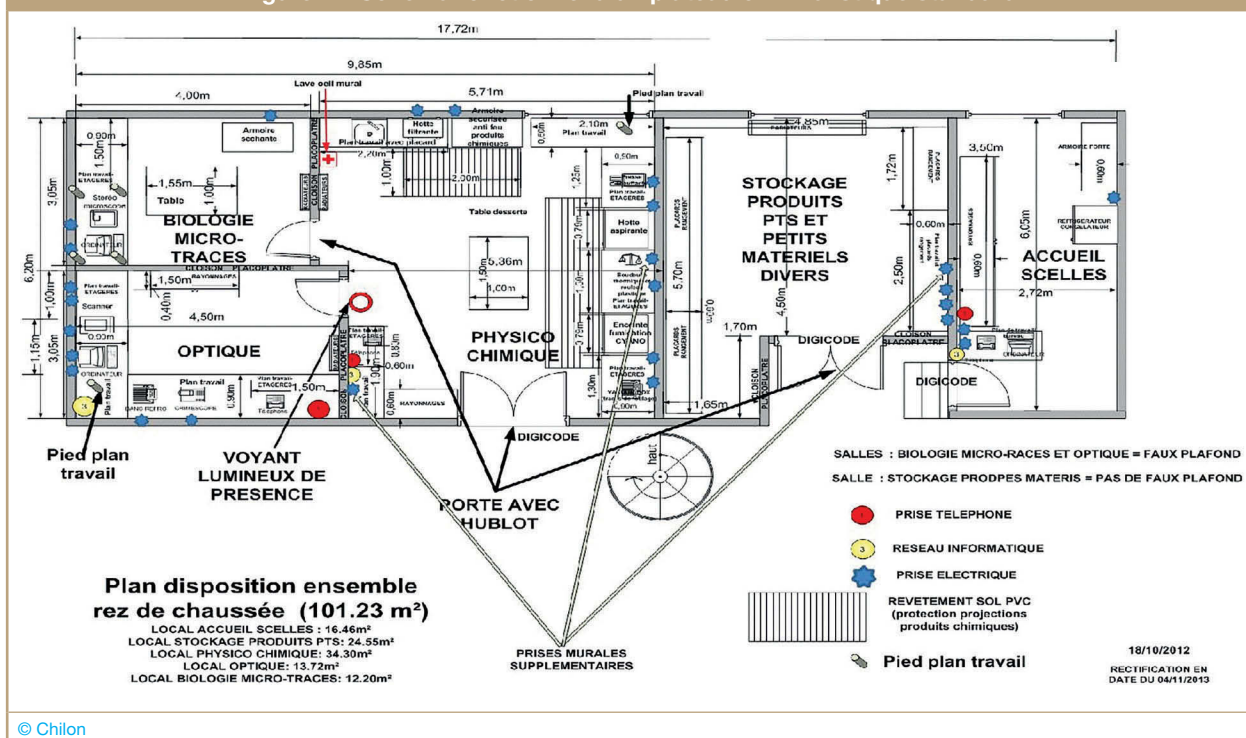
troisième année. Il pratiquera ensuite l'expertise pendant environ sept ans avant de prendre un commandement opérationnel, généralement une compagnie de gendarmerie départementale, qui lui permettra de cerner les besoins des enquêteurs. Après ces quatre années de pratiques opérationnelles, il peut revenir commander une division et ainsi alterner des postes très techniques avec des postes sur le terrain.

2.3. La chaîne criminalistique de la gendarmerie

Les activités de prélèvements techniques et scientifiques (PTS) (pour ce qui est de l'exploitation des indices les plus communs), mais aussi de rapprochements judiciaires, pour ce qui est des informations sur les faits et manières d'opérer, interviennent sur trois niveaux majeurs au regard de notre organisation. (figure 1).

Le niveau des techniciens en identification criminelle de proximité (TICP) des brigades territoriales autonomes (BTA) et des communautés de brigades (COB) détectent, relèvent et assurent le transport des traces ou indices liés à la délinquance dite « de proximité » (cambriolages, vols de véhicules, incivilités...). Géographiquement, ils couvrent l'ensemble des cantons du territoire national. Tandis que pour l'échelon départemental, la criminalistique (détection, exploitation normalisée des traces) est exercée par les techniciens en identification criminelle (TIC), pour ce

Figure 2 – Schéma fonctionnel d'un plateau criminalistique standard.



qui est des infractions plus graves, par les spécialistes en nouvelles technologies (N'Tech) ou les enquêteurs en fraude documentaire (EFD), sur des plateaux criminalistiques dotés de locaux et d'équipements de révélations et d'exploitations normalisés. (figure 2)

Le constat d'un besoin d'une structure supplémentaire de laboratoire à même d'exploiter les indices, est évident, dès les années 80, au regard du déficit de la France dans ce domaine, comparativement aux autres pays européens et se confirme aujourd'hui au regard de l'explosion des demandes d'expertises par l'autorité judiciaire. La France dispose, historiquement, des cinq laboratoires interrégionaux de police scientifique intégrés au sein de la Police nationale, du Laboratoire Central de la Préfecture de Police et de nombreuses autres structures privées, reposant sur des experts inscrits sur les différentes Cours d'appel, qui répondent dans des domaines d'expertises variés, allant de la toxicologie, à l'étude des faux en document, la balistique, l'analyse post incendie, etc. C'est parce que la gendarmerie aura su poser un diagnostic définissant le besoin, qu'elle n'aura pas simplement construit un laboratoire de plus, mais qu'elle aura apporté une réponse globale répondant aux besoins des enquêteurs, à son besoin opérationnel et aux attentes légitimes des citoyens. Le choix d'un Institut conduisant des travaux de recherche lui a permis d'asseoir son expertise dans le temps. L'expertise scientifique peut d'autant mieux s'exprimer qu'elle s'appuie sur une chaîne criminalistique solide, animée par le PJGN, qui part de la brigade territoriale, qui s'adosse aux plateaux criminalistiques départementaux et qui aboutit à l'IRCGN. Les experts de l'IRCGN assurent, pour une plus grande cohérence, une part importante de la formation des différents acteurs de cette chaîne en appui du CNFPJ.

3. Construction de l'IRCGN

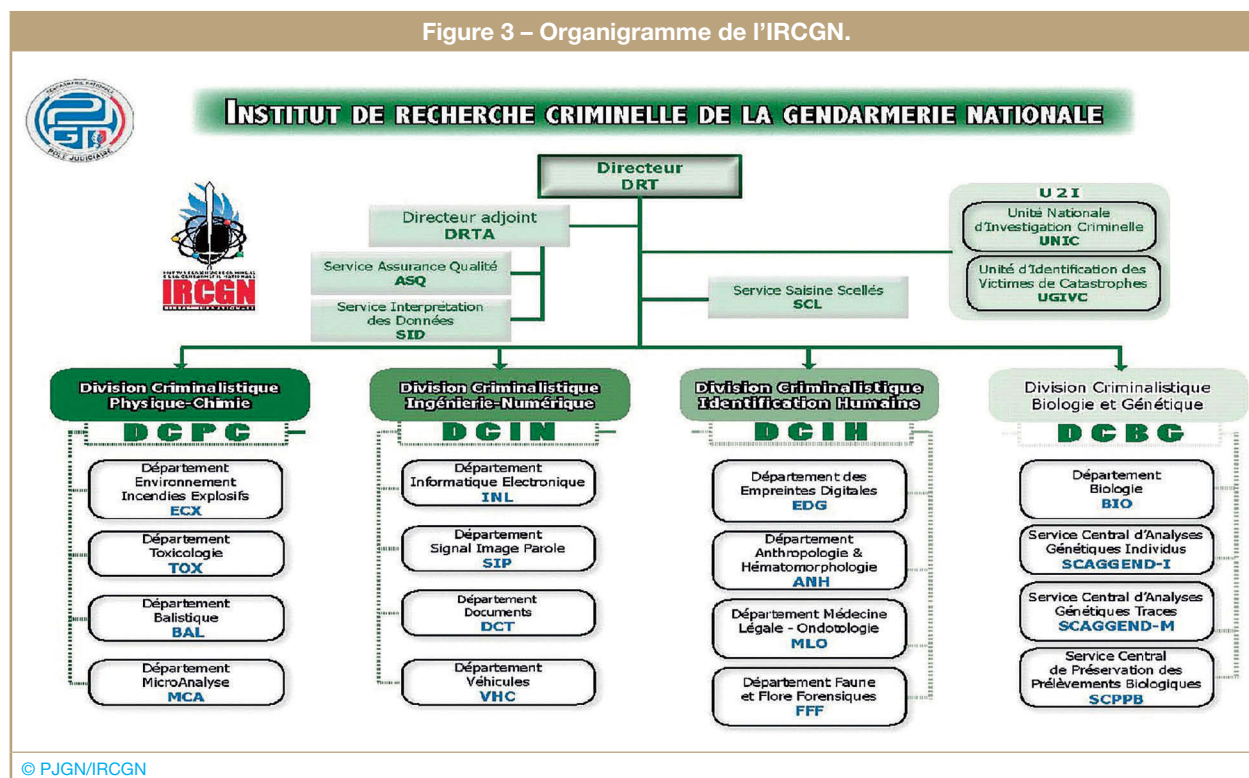
Ainsi l'Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale se construit progressivement autour des besoins définis supra selon les quatre axes majeurs que sont :

- la capacité à réaliser, selon le cadre juridique, des examens scientifiques ou des expertises au profit des enquêteurs ou des magistrats ;
- la capacité à projeter des experts sur le terrain et ainsi à apporter un soutien technique au plus près des enquêteurs ;
- la capacité à assurer une formation technique de haut niveau à tous les personnels composant la chaîne criminalistique ;
- la capacité à assurer un suivi des innovations dans le domaine ou de porter des projets de recherche appliquée [11] ou expérimentale.

Les experts de l'IRCGN, ne conduisant pas d'enquêtes judiciaires et se devant de conserver, dans le rendu de leurs travaux scientifiques, une totale indépendance, tant vis-à-vis du magistrat que de l'enquêteur, perdent, à leur arrivée à l'IRCGN, leur habilitation OPJ [12]).

La définition des besoins en compétences a permis de dégager très rapidement une structure reposant sur 16 départements scientifiques, découpés en tant que de besoin en unités d'expertises hyper spécialisées (le département « incendie, explosif et environnement » comprend, pour des raisons d'optimisation du parc analytique, trois domaines). Les départements sont eux-mêmes regroupés par quatre au sein de divisions criminalistiques spécialisées telles la division criminalistique identification humaine,

Figure 3 – Organigramme de l'IRCGN.



© PJGN/IRCGN

la division criminalistique biologie génétique, la division criminalistique physique et chimie, et la division criminalistique ingénierie numérique (figure 3). L'IRCGN a de plus construit deux unités projetables originales, à même de gérer les scènes complexes au plus proche des enquêteurs. Ces équipes, de manière à être parfaitement adaptées à chaque investigation à conduire, sont construites sur mesure, au regard de la nature de la scène d'investigation à étudier, et sont composées d'experts choisis dans chaque département de l'IRCGN. Un service d'assurance qualité vient enfin consolider l'ensemble afin de garantir la fiabilité de nos résultats au travers d'une accréditation de nos méthodes, résultats et experts selon l'exigeante norme ISO CEI 17025 [13].

Pour l'IRCGN, un résultat scientifique [14] est réfutable, démontrable, délivré avec une incertitude connue de mesure, c'est une méthode publiée, et dont la technique est reconnue par la communauté scientifique. Nous travaillons pour la recherche de la vérité et, à ce titre, étant amenés à présenter nos résultats à des non spécialistes, nous ne devons en aucun cas les induire en erreur ou instiller un doute par une explication qui ne serait pas compréhensible. Cet aspect, souvent méconnu, du travail des experts de l'IRCGN, consistant à expliciter son résultat au tribunal, est fondamental, pour nous et pour les justiciables.

Ainsi la gendarmerie dispose :

- d'une expertise forensique sur l'ensemble du spectre des indices susceptibles d'intéresser les enquêteurs ;
- d'experts gendarmes projetables en tous lieux afin d'apporter un savoir susceptible d'orienter ses enquêteurs quant aux causes possibles ;

et, cet ensemble, regroupé sur un même site, dont le décloisonnement favorise une innovation créatrice positionne l'IRCGN sur le haut du spectre des Instituts de Sciences Forensiques.

3.1. L'organisation de l'IRCGN

L'IRCGN travaillant uniquement au profit de la justice pénale, ne reçoit que des échantillons sous forme de scellés judiciaires. Cette procédure garantit la traçabilité de ces éléments, leur provenance et leur origine et est conforme aux procédures suivies par l'IRCGN. L'IRCGN partage son savoir-faire et ses bases de données analytiques, comme celles des peintures automobiles, des stupéfiants ou des armes, avec les structures de la police nationale ou le réseau des laboratoires européen en sciences forensiques [15].

Le principe d'un point d'entrée unique pour les scellés à l'IRCGN est la solution la plus fiable en termes de traçabilité et de qualité et a donc été retenu. Le service saisine-scellé (SCL) s'assure de la conformité juridique des réquisitions qui nous arrivent, du bon état de ces objets d'essais et en garantit leur conservation.

Le service assurance qualité (ASQ) vérifie et contrôle le respect des normes qualité et des bonnes pratiques dans le domaine, il met en place des contrôles sur les qualifications des experts, sur les équipements, sur l'environnement de travail, sur le processus d'expertise. Ces mesures permettent de garantir le traitement nominal des échantillons et la fiabilité résultats. Ce service est placé auprès du directeur dont il dépend directement afin de lui donner les moyens d'effectuer les contrôles et remarques nécessaires au nom du directeur.

Figure 4 – Service métrologie au sein du service assurance qualité. Contrôle de pipette.



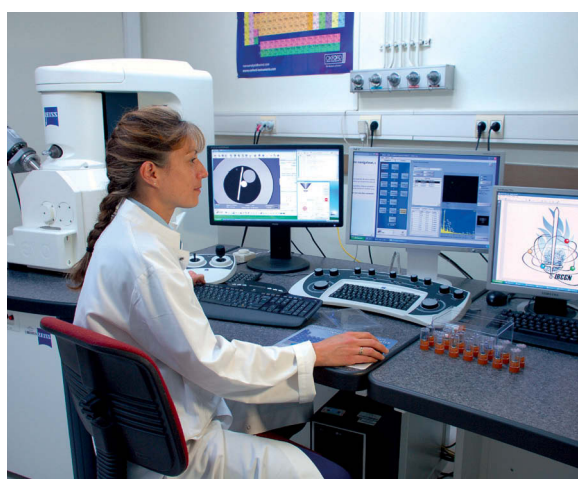
© PJGN/IRCGN/ASQ

Figure 5 – Sélection d'échantillons sur des engins explosifs.



© PJGN/IRCGN/ECX

Figure 6 – Analyse de résidus de tir au microscope électronique à balayage couplé à un analyseur X.



© PJGN/IRCGN/MCA

Le service interprétation des données (SID) offre aux différents experts de l'IRCGN, l'opportunité de disposer d'une expertise mathématique indépendante, afin d'évaluer le poids relatif des indices dans des affaires complexes. L'approche bayésienne [16] des résultats constitue une aide quant à la compréhension et l'énoncé de résultats scientifiques parfois ardues, et associée aux résultats chiffrés, une échelle verbale adaptée aux différents domaines d'expertises.

3.3. La division criminalistique physique chimie (DCPC)

Cette division (*figure 5*) traite des aspects traditionnels de la criminalistique, et dispose de tous les appareils et outils analytiques nécessaires à l'analyse des matériaux et échantillons naturels ou synthétiques. Cette division, de par les équipements analytiques dont elle dispose, confère à l'expert des sens beaucoup plus affûtés. En effet, avec le temps ces équipements sont devenus de plus en plus performants, spécifiques et de plus en plus sensibles. Désormais ce sont quelques nanogrammes ou picogrammes de substances qui peuvent être formellement identifiés. Cette capacité est essentielle dans la recherche de produits inflammables ou explosifs.

Selon la nature des scènes d'infraction d'où proviennent les échantillons, ces derniers seront traités par les experts du domaine concerné. Ainsi tout naturellement s'il s'agit de rechercher des traces d'empoisonnement, ce sera vers le département toxicologie que les échantillons iront, tandis que s'il s'agit de chercher à identifier des traces d'explosifs, les échantillons seront orientés vers les experts de ce domaine. Non seulement le travail de ces experts visera à identifier les substances, mais aussi à en expliquer les effets ou les conséquences, voire la provenance. Ces informations sont essentielles au travail des enquêteurs qui cherchent à retrouver les auteurs d'infractions ou à les matérialiser. Le département micro analyse exprime à lui seul le principe d'échange de Locard [17] en étudiant les traces et résidus afin d'en indiquer la provenance voire les circonstances ayant permis leur présence (*figure 6*).

Le département balistique appartient à cette division sans qu'on ne l'associe formellement à une activité analytique. Et pourtant, outre une forte expertise mécanique permettant à ses experts d'expliquer le fonctionnement d'une arme, de comparer l'effet des projectiles, voire d'identifier une arme ou sa dangerosité par l'étude des vestiges retrouvés sur une scène d'infraction ou dans le corps d'une victime, ces experts disposent à l'institut d'une des plus importantes collections de travail européenne, réunissant plus de 7 000 armes longues et 3 000 armes de poing distinctes. Cette collection d'armes associée avec une collection de munitions de plus d'un million de projectiles permet aux experts de réaliser un travail de très grande précision et de reconstituer toutes les scènes qui se présentent afin de pouvoir éclairer le magistrat sur les circonstances des usages des armes. Ils peuvent s'appuyer sur les experts de cette division s'ils souhaitent associer un projectile déformé à un lot de munitions par l'analyse isotopique du plomb [18] ou dater un tir par l'analyse des résidus présents dans le canon de l'arme [19].

3.4. La division criminalistique ingénierie et numérique (DCIN)

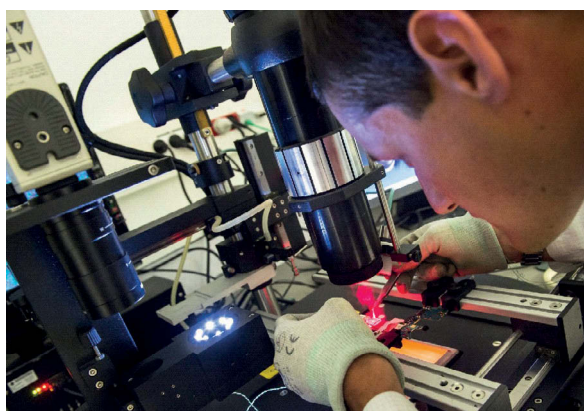
La division criminalistique ingénierie numérique (*figure 7*) regroupe toutes les personnes qui traitent du signal, de l'image, de l'informatique ou de l'électronique ou des objets s'y rapportant ou les utilisant. Les experts disposent tous de plusieurs ordinateurs par bureau et suivent en permanence les évolutions du domaine très évolutif des nouvelles technologies. Pouvoir avoir accès aux données d'un téléphone crypté ou à un ordinateur protégé par un mot de passe, lorsque ces éléments sont nécessaires au magistrat afin de matérialiser une infraction ou rechercher des liens avec des infractions plus graves comme la pédopornographie, fait partie intégrante de leur mission. Ainsi les informaticiens travaillent de concert avec des électroniciens ou des experts en cryptologie. Le traitement du signal va de l'exploitation des données d'une boîte noire (de couleur orange) retrouvée lors d'un accident d'avion, aux traitements d'images vidéo, en passant par les téléphones ou les disques durs, il s'agit de redonner un sens à des informations numériques. L'étude des documents, rentre dans cette catégorie car ils sont de plus en plus numériques et nécessitent des outils informatiques pour pouvoir les lire compte tenu des nombreux dispositifs de sécurité, même si les traditionnels macroscopes optiques ou méthodes d'analyses spectroscopiques sont quotidiennement employés pour détecter des fraudes, des faux ou faire des liens entre ces faux.

Le département véhicule appartient à cette division au regard de l'informatisation croissante des véhicules, qui disposent désormais d'assistance à la conduite, qui dont l'évolution tend vers des véhicules à conduite déléguée, voire autonome. Ce département dédié spécifiquement à l'expertise des véhicules en cas d'accident, ou de recherche lors de délits de fuite ou lors du besoin en identification constitue une spécificité de l'IRCGN dans le monde forensique. Il trouve au quotidien sa justification, tant le véhicule est un mode de transport utilisé et porteur d'informations dans la recherche d'auteurs d'infractions.

3.5. La division criminalistique identification humaine (DCIH)

Cette division s'est regroupée naturellement autour des éléments permettant traditionnellement l'identification d'un individu. Tout d'abord, l'identification par l'ADN constitue une part si importante de l'activité criminalistique qu'elle a nécessité la création d'une division criminalistique de biologie génétique (DCBG) qui s'y consacre totalement, elle est décrite infra. L'identification par l'emploi des empreintes digitales est connue et pratiquée depuis plus d'un siècle et ne perd pas de sa pertinence tant l'empreinte digitale est individualisante. De plus les techniques de révélations se sont affinées et perfectionnées afin de mieux les détecter, les prélever et faciliter l'identification des individus signalés, dont les empreintes sont détenues dans le fichier automatisé des empreintes digitales (FAED). Lorsque le corps humain est réduit à l'état de squelette, ce dernier est porteur de nombreuses informations permettant l'identification de la victime, son âge, son sexe et sa taille, mais aussi celle des circonstances du décès voire de son environnement (*figure 8*). Concernant les circonstances des crimes san-

Figure 7 – Dessoudage maîtrisé de composants électronique par chauffage infrarouge.



© PJGN/IRCGN/INL

glants ce sont les experts en hématologie-morphologie qui apprécient au mieux la violence de la scène. L'étude de la denture ou des traces de morsures par les odontologues est aussi pertinente, car très individualisantes. Lors des catastrophes de masse ces experts sont essentiels au processus d'identification, d'autant plus si les corps ont subi les traumatismes (flammes, dégradations biologiques, etc.). Les médecins légistes travaillent de concert avec ces différents experts lorsqu'il s'agit de comprendre les circonstances d'un crime. Le département Faune Flore Forensique étudie quant à elle, l'écologie d'une scène de crime et permet d'obtenir des informations essentielles

Figure 8 – Examen d'ossements par un anthropologue.



© PJGN/IRCGN/ANH

sur les lieux ou les dates d'un crime, à partir des indices biologiques et de la faune relevés dans l'environnement immédiat de la scène.

3.6. La division criminalistique biologie génétique (DCBG)

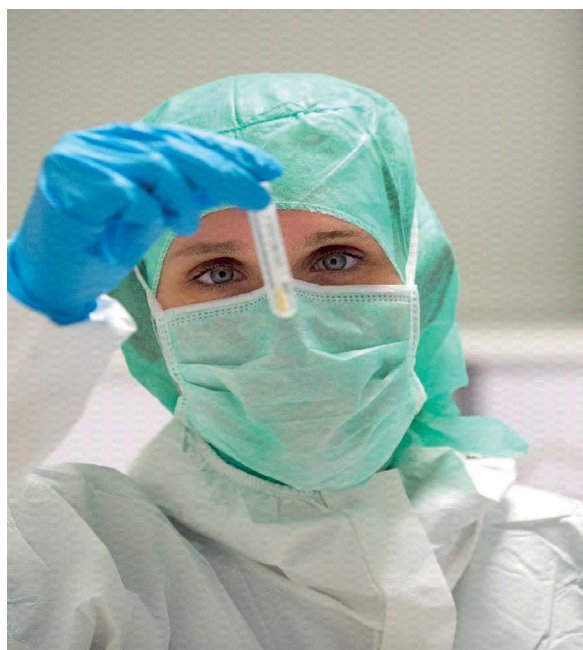
Cette division (*figure 9*) est totalement dédiée à l'exploitation de l'indice ADN. Il est constitué de trois départements procédant à des analyses biologiques mais selon trois angles différents. Il s'agit de départements où les prélèvements sont normalisés afin d'en permettre une exploitation efficiente à très grande échelle, pour les individus ou les traces. Ainsi, concernant le service central d'analyse

Figure 9 – Laboratoire de génétique, ici la salle post PCR.



© PJGN/IRCGN/BIO

Figure 10 – La DCBG : extraction d'ADN.



© PJGN/IRCGN/BIO

génétique de la gendarmerie pour les individus (SCAG-GEND-I), les personnes ayant fait l'objet d'une procédure judiciaire prévoyant l'intégration de leur ADN dans le fichier national automatisé des empreintes génétiques (FNAEG) font l'objet d'un prélèvement qui est envoyé dans l'unité en charge de ces analyses. Les profils génétiques obtenus sont envoyés dans le fichier national de comparaison. Tous les prélèvements recueillis sur les scènes d'infraction faisant l'objet de recherche de traces d'ADN en vue d'en identifier les auteurs parviennent dans le service central d'analyse génétique de la gendarmerie pour les traces (SCAGGEND-T) en charge de ces analyses (*figure 10*). Les résultats sont comparés avec ceux du fichier national afin de permettre l'identification de celui qui aura laissé son ADN sur les lieux. Le département biologie ne traitera quant à lui que les échantillons qui n'auront pas pu faire l'objet d'un prélèvement normalisé ou automatisé. Les experts de ce département devront pouvoir faire des recherches systématiques voire plus approfondies ou selon des approches analytiques adaptées à l'environnement ou la nature de l'échantillon.

Enfin, le service central de préservation des prélèvements biologiques (SCPPB) créé dans le cadre du décret ayant instauré le FNAEG, a pour mission de conserver les traces biologiques à partir desquelles ont été déterminés les profils génétiques qui sont enregistrés au FNAEG. Ce sont ainsi plusieurs dizaines de milliers de prélèvements qui sont conservés, dans un environnement maîtrisé, pour des dizaines d'années en vue d'une possible réanalyse.

3.7. L'unité d'investigation et d'identification (UII)

Cette unité est constituée à façon, en fonction de la scène de crime ou de catastrophe sur laquelle l'IRCGN doit intervenir. Les différents experts de l'IRCGN, outre leur compétence d'expertise au laboratoire, doivent être en mesure d'apporter cette expertise au plus proche du terrain. Ainsi, dans quasi tous les domaines des sciences forensiques, les experts ont développé des outils ou des compétences projetables sur le terrain. La plus emblématique de ces unités est très certainement l'unité de gendarmerie d'identification de victime de catastrophe (UGIVC) qui a pour mission d'identifier les victimes (accident naturel, ou catastrophe d'origine humaine). Elle se construit au cas par cas avec des médecins légistes, odontologues, experts en ADN ou empreintes digitales, mais aussi de nombreux autres experts en fonction de la catastrophe (experts en explosif, en incendie, en accidentologie, etc.). Elle est intervenue sur plus de 85 catastrophes en 25 ans, tant sur le territoire national qu'à l'étranger, dès lors qu'il s'agissait d'identifier formellement des victimes françaises. Cette unité est très proche dans sa construction de l'unité nationale d'investigation criminelle (UNIC), qui traite non pas des catastrophes ou attentats, mais des scènes de crimes graves, souvent sanglantes. Cette unité envoie des experts équipés et adaptés à la nature de la scène de crime qu'il faut exploiter. Ces deux unités constituées d'experts de l'IRCGN possèdent la qualité essentielle de pouvoir s'intégrer tant à la chaîne criminalistique qu'à l'ensemble du dispositif gendarmerie dans toutes ses spécialités (montagne, maritime, aérienne, etc.) (*figure 11-13*).

Figure 11 – Site d'investigation sur accident d'avion la «germanwings».



© IRCGN/UGIVC

Figure 12 – L'Ull et son laboratoire d'analyse mobile.



© IRCGN/UGIVC

Figure 13 – Analyse ADN sur site au sein du laboratoire mobile.



© IRCGN/UGIVC

4. Conclusion

L'IRCGN est un institut de sciences forensiques qui a été créé par la gendarmerie, afin de répondre à un besoin d'exploitation des indices présents sur les scènes de crime, en tout point du globe, quel que soit l'environnement (contaminé, NRBC, zone de guerre, classifié) et avec un délai de projection de quelques heures. Installé sur un nouveau site de plus de 20 000 m² de laboratoire à Pontoise, il est en mesure de répondre aux sollicitations des enquêteurs et des magistrats, dans tous les

domaines des sciences utiles à la manifestation de la vérité scientifique et au procès pénal. Ce sont plus de 500 dossiers qui sont traités chaque jour à l'IRCGN, et c'est aussi en moyenne une équipe d'experts projetée en métropole ou à l'étranger quotidiennement afin d'aider les enquêteurs à résoudre des affaires criminelles. La pluridisciplinarité, autour d'environ 240 méthodes d'essais distinctes respectant des normes de qualité exigeantes, qui le caractérise, offre à cet institut à la pointe des technologies et des savoirs, la possibilité d'innover ou de créer des nouveaux outils parfaitement

adaptés aux besoins de la gendarmerie et dans les domaines spécifiques à son champ d'action, qu'elle souhaite développer au regard de son organisation, de son occupation du territoire ou de son lien fort avec le monde de la défense. Ainsi l'équipement, développé par l'IRCGN, de contrôle de pièces automobiles, « Gendiag » qui permet aux enquêteurs de détecter, en quelques minutes, les pièces contrefaites ou les véhicules maquillés ou volés, directement en branchant cet équipement sur le véhicule contrôlé. Ou encore, dans le domaine biologique, « Gendsag », qui est un nouveau système de prélèvement biologique, intégré au sein d'un laboratoire mobile d'analyse d'ADN « LabADN », qui facilite le traitement et permet l'obtention du profil ADN d'un individu en moins de quatre heures, sur le site d'investigation, que la gendarmerie a breveté et dont elle exploite désormais la licence (20).

L'IRCGN, financé sur le budget de la gendarmerie nationale, est une unité de gendarmes experts, qui ne possèdent plus la qualification d'officier de police judiciaire, afin de rester indépendants, dont les compétences et les moyens sont mis à la disposition du justiciable dans la recherche de la vérité scientifique lors d'une enquête pénale. La capacité de projection de cette unité permet de garantir à chaque Français une mise à disposition des meilleurs experts en tous lieux du territoire métropolitain et ultra marin. Notre culture militaire nous permet d'exercer un haut niveau d'expertise dans des groupes soudés ou chacun travaille avec un haut degré de compétence, en sachant ce que le précédent a fait, ce que le suivant va faire et en sachant que tous travaillent à la résolution du cas qui est traité et donc à la recherche de la vérité scientifique au profit du justiciable.

Liens d'intérêts: les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts avec le contenu de cet article.

Références

- [1] Rapport de la cour des comptes: le financement public de la recherche, p 163
- [2] www.interieur.gouv.fr/Archives/Archives-des-actualites/2015/Crash-de-l-avion-de-la-compagnie-Germanwings/Crash-du-vol-Germanwings-Des-gendarmes-temoignent
- [3] https://fr.wikipedia.org/wiki/Affaire_Gr%C3%A9gory
- [4] Portée d'accréditation présente sur le site du COFRAC (1 - 1916 et 8 - 2527)
- [5] Déontologie et responsabilité de l'expert en justice. Livret pdf du 5^e colloque de la compagnie des experts près de la Cour d'appel de Reims. 2012.
- [6] E. Locard, «L'enquête criminelle et les méthodes scientifiques», Flammarion, Paris, 1920.
- [7] H. Daudigny et al, La topographie au service de la gendarmerie nationale: fixation de l'état des lieux dans un contexte criminalistique (concept et moyens), revue XYZ, N° 138 – 1^{er} trimestre 2014
- [8] www.gendarmerie.interieur.gouv.fr/ircgn
- [9] Affaire gregory référence supra https://fr.wikipedia.org/wiki/Affaire_Gr%C3%A9gory
- [10] www.interieur.gouv.fr/Actualites/L-actu-du-Ministere/Un-nouveau-pole-judiciaire-pour-la-gendarmerie-nationale/Presentation-du-PJGN Portée d'accréditation présente sur le site du COFRAC (1-1916 et 8 - 2527)
- [11] Rapport de la cour des comptes: le financement public de la recherche, pp 262-263 ; 275
- [12] L'article 12 du CPP place les OPJ sous la direction du procureur de la république ce qui n'est pas compatible avec l'exercice indépendant de l'expertise scientifique.
- [13] LAB REF 02 (COFRAC): Exigences pour l'accréditation des laboratoires selon la norme NF EN ISO/CEI 17025
- [14] D. L. Faigman «The daubert revolution and the birth of the modernity: managing evidence in the age of science», UC Davis Law Review. Vol 46. N°3 2013.
- [15] www.enfsi.eu/
- [16] F. Taroni et al, Bayesian Networks for Probabilistic Inference and Decision Analysis in Forensic Science, 2nd Edition
- [17] Le principe de Locard énonce que lorsqu'un acte criminel est commis le responsable laisse des traces de sa présence et emporte avec lui des traces du lieu où il se trouvait.
- [18] P. Tournon et al, «Comparaison of bullet Alloys by chemical analysis: use of ICP-MS method» Forensic Science International, 91 (1998) 197-206
- [19] B. Persin et P. Tournon, «Évaluation de la date d'un tir», canadian society of forensic Science, Vol 40 N°2, (2007), pp 65 – 85)
- [20] Brevet du Laboratoire mobile pour analyse génétique sous le numéro FR1670215 à l'INPI

Recherche des causes toxiques de la mort

Olivier Roussel^a, Sophie Salle^a, Charles Agostini^b

RÉSUMÉ

Le toxicologue judiciaire n'est pas le seul acteur dans la recherche des causes de la mort. Celle-ci débute, dès l'autopsie, dans les mains du médecin légiste qui constitue les prélèvements et consigne les éléments d'orientation pour son collègue du laboratoire. Des prélèvements découlent les analyses toxicologiques réalisables. Ainsi, dans le contexte contemporain d'exigence, il convient d'harmoniser ces prélèvements et examens afin d'assurer une égalité de traitement. Nous décrivons les protocoles de prélèvements et les exigences analytiques actuelles, de la table d'autopsie à la paillasse du laboratoire. Enfin, les besoins évoluant au gré de l'apparition de nouvelles substances et les possibilités analytiques au gré des innovations techniques, un état des mesures techniques prises en anticipation des futures demandes clôt cet article.

Autopsie - cause de la mort - toxicologie judiciaire.

1. Introduction

Confronté à la problématique de la recherche des causes du décès, le médecin légiste devra mettre en œuvre « sa science autopsique » : en décrivant les aspects du cadavre, en recherchant les lésions externes et internes lors des différentes phases de dissection, en confrontant enfin ses observations avec les données de l'enquête. Cependant, pour affiner son diagnostic de recherche des causes et mécanismes du décès, il pourra s'appuyer sur des expertises complémentaires.

Un des premiers moyens, sans doute le plus sollicité par les enquêteurs et magistrats, est l'expertise toxicologique à partir des prélèvements réalisés lors de l'autopsie. Combien de fois, le médecin légiste est confronté à des signes macroscopiques non spécifiques d'une cause particulière de mort ? Combien de fois, le doute est encore là après l'autopsie, au sujet du mécanisme exact du décès ou de l'intrication possible de plusieurs mécanismes ? Combien de fois, la question de la baisse de vigilance ou des capacités physiques de la victime

avant un processus mortel quelconque est posée par les enquêteurs ? Combien de fois, la question de l'implication d'une ou des substances toxiques retrouvées sur la scène de mort (lors de la levée de corps) est posée ? Pour toutes ces questions, le médecin légiste ne pourra répondre seul.

L'expert toxicologue devra intervenir pour y répondre, ou tenter d'apporter un éclairage sur l'implication de telle ou telle autre substance toxique dans le processus ayant conduit au décès d'un individu. Mais, plus que ça, une étroite collaboration entre enquêteur, médecin légiste et toxicologue sera nécessaire. Collaboration qui prendra sa place avant, pendant et après l'autopsie proprement dite ; l'autopsie restant l'examen roi pour la recherche des causes de la mort.

Les expertises toxicologiques s'appuient de nos jours sur des processus analytiques complexes qui tiennent compte d'avancées nouvelles et de perspectives de recherche toujours en évolution. Il est loin le temps de l'appréciation à la lumière du jour des anneaux d'antimoine ou d'arsenic dans un tube à essai devant la Cour d'Assises. Ces techniques de pointes doivent être parfaitement maîtrisées par l'expert toxicologue, ainsi que leurs limites, en fonction des substrats de natures et de qualités diverses issues du cadavre. C'est à ce prix que son travail sera utile à l'enquête sur la recherche des causes et mécanismes de décès.

SUMMARY

Research on toxic causes of the death

The forensic toxicologist is not the only participant on the inquest into the causes of the death; from the autopsy, this examination begins in the hands of the coroner who takes samples and reveals guidance elements for the colleague in the laboratory. Toxicological analyzes depend on samples, so, due to the contemporary context of requirement, to harmonize these samples and analyzes has been suitable for ensuring an equal treatment. In this article, we describe the sampling protocols and the present analytical requirements, from the table of autopsy to the laboratory bench tops. Finally, as need evolves in function of the emergence of new substances and the possibilities in function of technical innovations, we describe our present technical measures taken to anticipate future requests.

Autopsy - cause of death - forensic toxicology.

Institut de recherche criminelle de la gendarmerie nationale (IRCGN)

5, boulevard de l'Hautail - Caserne Lange
95037 Cergy-Pontoise cedex (France)

a Département Toxicologie de l'IRCGN

b Département Médecine Légale de l'IRCGN

Correspondance

olivier.roussel@gendarmerie.interieur.gouv.fr

article reçu le 30 août 2016, accepté le 30 septembre 2016.

© 2016 – Elsevier Masson SAS – Tous droits réservés.

2. Les prélèvements à but de toxicologie médico-légale lors de l'autopsie

L'autopsie médico-légale comporte plusieurs phases au cours desquelles, des prélèvements de différentes natures vont être réalisés.

L'autopsie médico-légale bien menée doit comporter un important examen externe du cadavre avant l'examen interne proprement dit.

Lors des différents examens (externe et interne) le médecin légiste s'attachera à repérer et consigner tout élément suspect orientant vers une cause possible de décès toxique : congestions pluriviscérales, odeurs particulières (du contenu gastrique par exemple), aspects particuliers de colorations des tissus, cyanoses et décolorations des téguments, etc.

Les techniques de prélèvements exposées le sont dans les conditions idéales. En fonction des circonstances l'opérateur devra s'adapter.

2.1. Examen externe

Lors de l'examen externe des prélèvements à visée toxicologiques pourront déjà être réalisés en fonction des circonstances, nous pensons essentiellement à :

- Un **écouvillonnage des narines** (idéalement deux écouvillons par narine), écouvillonnages qui devront être repérés par latéralisation (droite, gauche) : Ces écouvillonnages sont réalisés dans le but de rechercher des traces de stupéfiants « snifés » par la victime. Ces échantillons devront être congelés avant transport vers le laboratoire de toxicologie.
- Un prélèvement à la seringue de 10 mL montée avec une aiguille de gros diamètre pour l'**humeur vitrée**, là aussi un prélèvement par œil avec latéralisation des deux échantillons prélevés. La technique consistant à piquer dans la conjonctive de l'œil (côté externe) avec une inclinaison de 30° vers l'arrière dans le plan horizontal passant par le milieu de l'œil. L'opérateur doit apercevoir le biseau de l'aiguille au travers de la pupille avant d'aspirer l'humeur vitrée. Cette opération effondrant le volume de l'œil il est important d'injecter de l'eau pour le reconstituer dans un but de respect de la dignité du cadavre et présentation aux proches. Ces échantillons devront être congelés avant transport vers le laboratoire de toxicologie.
- Un prélèvement d'une ou deux **mèches de cheveux** : On choisira les régions occipitales du cuir chevelu, où la pousse est la plus régulière. L'opération consistant à nouer à l'aide d'un lien souple la mèche et de couper au scalpel au ras du cuir chevelu. Le nœud étant réalisé à 1 ou 2 cm du côté cuir chevelu afin d'orienter la mèche pour les opérations de dosages toxicologiques dans le temps. On choisira des régions propres non souillées avec un volume important (1 cm de diamètre de mèche si possible), et on déposera les échantillons dans une enveloppe de papier kraft (non congelé). À défaut de cheveux, des poils pourront être utilisés (poils pubiens) mais dans ce cas l'orientation n'a plus le même sens

que dans le cheveu, la régularité de la pousse n'étant pas la même.

- Évidemment, **toute trace suspecte** retrouvée sur le corps ou les vêtements lors de l'examen externe du corps pourra faire l'objet d'un échantillonnage en fonction des circonstances (les conditions de prélèvements devront être détaillées pour le toxicologue).

2.2. Examen interne

Lors de l'examen interne des prélèvements auront lieu tout au long du processus de dissection. Ils font partie d'un kit type de prélèvements toxicologiques et seront congelés avant envoi au laboratoire de toxicologie.

On prélève dans l'ordre :

- Les **urines**, elles seront prélevées à la seringue de 10 ou 20 mL montée avec une aiguille de gros diamètre. La technique consistant à piquer en sus pubien dès lors que l'ouverture abdominale et/ou la résection intestinale ont été réalisées. En cas d'échec à la seringue montée, il conviendra d'ouvrir la vessie au ciseau et d'y contrôler le volume d'urine et éventuellement utiliser la seringue seule pour prélever les quelques millilitres restant en fond de vessie.
- Le **sang périphérique**, il est prélevé immédiatement après la résection intestinale. La technique consiste à utiliser une seringue de 10 ou 20 mL montée avec une aiguille à gros diamètre. On va d'abord disséquer au doigt les régions musculaires et les différents fascias pour mettre en évidence, soit la veine iliaque, soit le confluent cave inférieur. Si le réseau veineux est plat, il peut être intéressant de surélever le membre inférieur correspondant et de masser au poing la région interne de la cuisse pour faire migrer le sang vers la région iliaque. En cas de gros traumatismes avec pertes sanguines importantes, la recherche de sang périphérique peut s'avérer difficile voire infructueuse. Dans les cas où la technique de la seringue ne fonctionne pas, on peut sectionner le réseau iliaque et recueillir simultanément le sang dans une cuillère ou une louche propre.
- Le **sang cardiaque**, il est prélevé soit à la seringue de 10 ou 20 mL montée avec une aiguille de gros diamètre au niveau des veines pulmonaires, soit après section des veines pulmonaires dans une louche propre, dans le sac péricardique après ses ouvertures, contrôle et nettoyage. Il est parfois nécessaire de masser le cœur pour recueillir ce substrat.
- Le **contenu gastrique**, il est prélevé au moment de l'ouverture de l'estomac lors de la dissection du bloc abdominal. Le contenu total est retiré de l'estomac, contrôlé en volume et décrit. Un échantillon est prélevé pour l'expertise toxicologique dans une louche propre.
- La **bile**, est prélevée à la seringue de 10 ou 20 mL montée avec une aiguille de gros diamètre. Elle est prélevée lors de la phase de dissection du foie. La bile est prélevée dans la vésicule biliaire, avant sa résection.
- Les **fragments d'organes**, quelques grammes de cœur, cerveau, foie, poumons, reins seront prélevés lors des phases de dissection des organes cités. Ils auront surtout une importance en cas d'absence de sang périphérique.

Sur des cadavres frais, il est souvent possible d'obtenir aisément l'ensemble des échantillons sus cités dans des quantités très satisfaisantes pour l'expert toxicologue.

Par contre, sur les cadavres dégradés (putréfiés, carbonisés, squelettisés) il conviendra qu'il y ait un échange direct entre toxicologue et médecin légiste pour connaître les limites des techniques toxicologiques sur ces substrats dégradés. D'autres substrats pourront alors être analysés : muscle, moelle osseuse.

Il faut bien comprendre que plus le corps est dégradé, plus les limites sont importantes pour répondre à la question clé qui intéresse tout enquêteur ou magistrat : **dans quelle mesure une substance X ou Y a pu contribuer au décès ou à l'incapacitation de la victime ?**

3. La recherche des causes toxiques de mort

La qualité, la quantité, le conditionnement et la conservation des prélèvements autopsiques sont primordiaux aux succès des analyses toxicologiques. Ainsi dès 1996, la Société Française de Toxicologie Analytique (SFTA), société regroupant des toxicologues analystes, en association avec plusieurs services de médecine légale, proposait un consensus : « les prélèvements d'autopsie nécessaires à la bonne exécution des expertises toxicologiques » [1].

Ce document décrit les échantillons nécessaires (qualité, quantité, conditionnement) à une analyse toxicologique post autopsique ainsi que leur conservation. Il relaye aussi une requête importante pour le bon déroulement des expertises toxicologiques : l'ensemble des prélèvements doit être réalisé d'emblée à l'autopsie. En effet, en cas de crémation, l'obtention de nouveaux échantillons est impossible et en cas d'exhumation, l'interprétation des résultats d'analyse est compliquée par les modifications liées à la décomposition, à la prolifération microbienne ou à la thanatopraxie. En 2012, le Pr. Alvarez propose une liste des prélèvements autopsiques indispensables à l'analyse toxicologique *post mortem* (**tableau I**) [2]. La nature des échantillons diffère peu, ce sont essentiellement les volumes qui ont été revus à la baisse, conséquence intéressante de la modernisation des techniques et des parcs analytiques.

Depuis plusieurs décennies, en effet, l'informatique et la miniaturisation bouleversent nos pratiques au laboratoire. Par vagues successives : les chromatographes en phase gazeuse et liquide, les barrettes de diodes, les torches à plasma, les chromatographes ioniques, les spectromètres de masse simple, en tandem puis à haute résolution ont investi les paillasses, se démocratisant tour à tour. Ce faisant, le nombre de laboratoires français suffisamment équipés pour réaliser des expertises de toxicologie judiciaire a crû en quelques années.

Tableau I : Prélèvements autopsiques nécessaires selon le Pr. Alvarez.

Matrice	Quantité minimale nécessaire	Contenant	Utilisation	Conservation
Sang périphérique	10 mL dont 5 sur NaF	Flacon verre ou plastique	Systématique : tous les dosages	Congélateur
Sang cardiaque	10 mL	Flacon verre ou plastique	Systématique : criblage chromatographique	Congélateur
Urine	5-10 mL	Flacon verre ou plastique	Systématique : dépistage immunochimique et criblage chromatographique	Congélateur
Contenu gastrique	5-10 mL	Flacon plastique	Systématique : criblage chromatographique	Congélateur
	Tous les restes de comprimés ou gélules	Flacon plastique	Facultative : identification des comprimés ou gélules ingérés	Congélateur
Cheveux	1 mèche orientée	Enveloppe ou flacon plastique	Prélèvement systématique mais utilisation facultative : chronicité ou non d'une consommation	Température ambiante
Humeur vitrée	Totalité (1-2 mL)	Tube plastique	Systématique : éthanol	Congélateur
Bile	Totalité (1-2 mL)	Tube plastique	Systématique : éthanol	Congélateur
Viscères : foie, rein, cœur, poumon, cerveau	10-20 g	Flacon plastique	Prélèvement systématique mais utilisation alternative (pas de fluides) ou facultative (scientifique)	Congélateur
Liquide de putréfaction	10 mL	Flacon verre ou plastique	Alternative si absence de fluides par putréfaction	Congélateur
Prélèvements nasopharyngés	1 écouvillon/narine	écouvillon	Facultative pour déterminer si administration sniffée de stupéfiants	Congélateur
Larves et insectes	5-10 g	Flacon plastique	Facultative	Congélateur
Os	Os plat	Flacon plastique	Facultative	Congélateur

Traité de Toxicologie Médico-Judiciaire, 2^{de} édition, Kintz P, Elsevier-Masson, 2012.

Les experts ou personnes qualifiées sont ainsi plus nombreux pour honorer la demande, elle-même croissante, des magistrats, en termes de recherche de consommation de stupéfiants ou d'alcool, de diagnostic de noyade ou de soumission chimique et de recherche des causes toxiques de la mort.

Cependant cette multiplication des sites et des experts dans un domaine sans norme pouvait être à l'origine de disparités locales ou régionales conséquentes et parfois indécélables par les « clients » de la magistrature. Animée par la volonté de disposer d'une mission minimale standardisée, la Compagnie Nationale des Biologistes et Analystes Experts (CNBAE) a alors établi et proposé une « expertise toxicologique de référence » à la Chancellerie (Note de la Chancellerie du 5 août 2006 [3]) pour la recherche des causes toxiques de la mort. Cette expertise toxicologique de référence liste toutes les analyses imposées à l'expert, qui voudrait répondre à la mission et en définit aussi la rétribution. Bien entendu, cette expertise-type n'est pas l'unique arsenal du toxicologue pour répondre aux magistrats et enquêteurs, elle a cependant l'avantage par son exhaustivité de guider les analyses quand aucun élément d'investigation n'oriente le questionnement vers des demandes plus spécifiques.

Au jour de la rédaction de cet article, l'expertise toxicologique de référence comprend :

- a. L'analyse par chromatographie en phase gazeuse / ionisation de flamme (CPG/FID : dosage de l'éthanol, méthanol, isopropanol, recherche et dosage de l'acétone) ;
- b. L'analyse par immunochimie (automate ou ELISA) : recherche d'opiacés, amphétaminiques, cocaïniques, cannabinoïdes, buprénorphine ;
- c. L'analyse par spectrophotométrie dérivée : identification et dosage de la carboxyhémoglobine ;
- d. La recherche des cyanures avec quantification et en cas de positivité ;
- e. L'analyse par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG/SM) et par chromatographie liquide haute performance couplée à la barrette de diodes (CLHP/BD) ;
 - Identification et dosage des drogues (nouvelle définition Académie de médecine) ;
 - Identification et dosage des stupéfiants de prescription ;
 - Identification et dosage des médicaments psychoactifs ainsi que leurs métabolites, avec utilisation de banques de spectres de masse et de banque de barrette de diodes ;
 - Identification et dosage de médicaments non psychoactifs (anesthésiques locaux, anesthésiques généraux, anticoagulants, antidiabétiques, antalgiques, antiparkinsoniens, β -bloquants, vasopresseurs, α -mimétiques ...) ainsi que leurs métabolites, de xénobiotiques divers, avec utilisation de banques de spectres de masse et de banque de barrette de diodes ;
- f. La recherche d'autres médicaments : digitaliques, salicylés ;
- g. La recherche et le dosage du lithium.

Nota Bene : Hors mission-type, ont été listées dans la note de la chancellerie, à titre d'examen complémentaires, les recherches de l'hémoglobine glyquée ; des

toxiques végétaux ; des dopants (corticoïdes, stéroïdes, anabolisants) ; des toxiques métalliques et métalloïdiques ; des molécules de la soumission chimique ; des toxiques ioniques ; des solvants autres que les alcools et l'acétone ; des hormones peptidiques (pancréatiques, thyroïdiennes, surrénaliennes) ; des toxiques venimeux ; des toxiques de guerre et de terrorisme chimique.

Quand la liste de ces analyses est croisée avec celle des prélèvements autopsiques disponibles, l'importance des prélèvements sanguins devient évidente. Le sang *post mortem* est la principale matrice biologique de laquelle les dosages vont pouvoir être interprétés et ainsi renseigner quant à l'état *ante mortem* de la personne.

Le sang périphérique doit néanmoins être distingué du sang cardiaque. Ce dernier, par sa proximité à l'estomac, est plus sujet à la redistribution *post mortem*. De l'estomac, potentiel réservoir de toxique, les analytes d'intérêt peuvent diffuser et faussement augmenter les concentrations intracardiaques. Possiblement plus concentré, le sang cardiaque reste intéressant pour le criblage (comme les urines) alors que le sang périphérique sera réservé aux dosages (**tableau I**).

Cette prépondérance du sang périphérique a pour origine la difficulté de normaliser les concentrations dans les autres matrices. Pour autant, le sang est parfois absent des prélèvements autopsiques et le recours aux autres matrices est impératif. À l'exception près de l'humeur vitrée qui est une alternative au sang, en particulier pour le dosage de l'éthanol, les concentrations dans les autres liquides et tissus biologiques doivent être interprétées avec beaucoup de précautions et de réserves. Ces valeurs sont souvent moins informatives et ne témoignent alors que de l'absorption, la distribution, la métabolisation ou l'élimination des substances décelées, sans permettre à l'expert d'établir un lien de causalité (décès, comportement, vigilance, etc.).

L'expert toxicologue bâtit donc sa stratégie analytique en fonction de ses capacités analytiques mais aussi en fonction des limites imposées par les prélèvements existants. Il ne doit pas hésiter à en informer le mandant pour convenir soit d'une nouvelle mission, soit de restriction de la mission initiale.

À l'IRCGN, l'équipe du département toxicologie base sa stratégie sur l'analyse préférentielle des sangs cardiaque et périphérique, de l'urine et de l'humeur vitrée. En l'absence de ces échantillons, l'expertise toxicologique de référence n'est pas réalisable, cependant des alternatives, moins exhaustives, existent.

Techniquement, la majorité des travaux est menée sur des chromatographes, soit en phase gazeuse pour les alcools et l'isopropanol (espace de tête/FID) [4], pour la recherche et le dosage des stupéfiants (SM) [5] et pour le criblage des xénobiotiques organiques (SM) [6], soit en phase liquide pour le criblage ou le dosage des xénobiotiques organiques (BD, SM, spectrofluorimétrie) [6] et pour le dosage des cyanures après dérivatisation par le 2,3-naphthalène dialdéhyde (spectrofluorimétrie) [7]. En complément de ces techniques sont aussi employés des automates de biologie pour le criblage de certains médicaments (dont les digitaliques) et stupéfiants, pour

la recherche du lithium ou la détermination de la carboxyhémoglobine. Si nécessaire, le lithium est dosé précisément en torche à plasma [8].

Si cinq appareils (CPG/FID, CPG/SM, CLHP/BD, automate des gaz du sang et automate de toxicologie) suffisent à l'exécution d'une expertise toxicologique de référence, se priver des innovations techniques récentes et en particulier de la spectrométrie de masse à haute résolution serait dommage. D'autant que la révision de l'expertise toxicologique de référence a été rendue indispensable par l'émergence des nouvelles drogues de synthèse, or ce phénomène prend trop d'ampleur en France et en Europe pour être esquivée.

4. Analyse toxicologique version 2.0 à l'IRCGN

L'emménagement dans les nouveaux laboratoires de Pontoise et l'acquisition d'un chromatographe en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse haute résolution (CLHP-SM-HR) nous ont conduits à revoir entièrement la stratégie de criblage du département. L'objectif de la nouvelle approche est la réalisation d'expertises de qualité dans des délais compatibles avec le temps judiciaire tout en préservant au maximum les échantillons. La méthode doit donc allier sensibilité, spécificité, prise d'essai faible et délais réduits. L'emploi combiné et raisonné des nouvelles technologies présentes sur le marché a aidé à atteindre cet objectif.

4.1. Préparation de l'échantillon

La première étape, et non la moindre, est la préparation de l'échantillon. Cette étape a plusieurs objectifs : rendre échantillon compatible avec l'analyseur, réduire les interférents matriciels sans perdre les composés d'intérêts voire en les concentrant et stabiliser l'échantillon. Elle est essentielle puisque seules les substances encore présentes dans l'extrait sont analysées. En plus de la traditionnelle précipitation des protéines ou extraction liquide-liquide, de nouvelles techniques d'extraction se sont imposées [9,10] telles que l'utilisation de quechers, l'extraction en phase solide (SPE), la micro-extraction en phase solide (SPME) ou encore l'extraction liquide sur support (SLE) [11], technique choisie au laboratoire. Après dilution dans un tampon voire broyage pour les échantillons non liquides tels que le contenu gastrique ou les viscères, l'échantillon est déposé sur une cartouche contenant de la terre de diatomées. Les substances d'intérêt, préalablement placées à l'état neutre grâce au tampon, sont ensuite éluées par des solvants organiques. Cette technique présente plusieurs avantages. Au regard de l'ELL, cette approche réduit les effets matrices (retrait des protéines mais aussi des phospholipides) et le temps à la paillasse, et surtout elle est automatisable. Bien que moins propre que la SPE, elle est plus polyvalente car une plus large variété de substances sont extraites. Notons que l'urine fait l'objet d'un traitement simplifié puisque cette matrice présente peu d'interférents matriciels et des concentrations généralement conséquentes.

4.2. Analyse de l'échantillon

La seconde étape du criblage consiste à analyser l'échantillon. Dans notre approche, l'extrait est fractionné en deux échantillons. Le premier subit une analyse en CLHP/SMHR (CLHP 1260 d'Agilent® couplée à un TTOF 4600 de Sciex®) en mode positif mais aussi en mode négatif. Lors d'une analyse en CLHP, un élément clef reste l'élution. Cette dernière est conditionnée par le choix de la colonne et des solvants associés. Ces dernières années l'amélioration des process de fabrication et de greffage ont permis l'apparition de nouvelles colonnes analytiques plus résolutes et avec des capacités de rétention plus évoluées. La colonne retenue pour notre criblage est une colonne de technologie core-shell avec greffage biphenyl (colonne phenomenex® kinetex biphenyl 100x 2,1 mm - 2,6 µm - 100 Å). Sa polyvalence permet de séparer en une seule élution de 20 minutes des substances très différentes allant par exemple de la metformine (petite molécule polaire, de masse 129,10144 et log P -0,92) à l'amiodarone (grosse molécule apolaire de masse 645,02368 m/z et de logP 7,64). Après acétylation, le second extrait est analysé par CPG/SM² (spectromètre de masse en tandem de type triplé-quadrupôle : TQ8040 de Shimadzu®) avec une première injection en mode full-scan puis une seconde en mode ciblé (MRM). À ce jour près de 500 molécules ont été incorporées dans les méthodes (temps de rétention et spectres), assurant une première approche ciblée et donc rapidement interprétable. Cette approche ciblée et semi-quantitative est en cours de validation. L'obtention de la limite de détection de chacune des substances implémentées permettra de confronter la méthode aux besoins toxicologiques au regard des concentrations rapportées dans la littérature. Pour les substances dont les limites de détection sont insuffisantes au regard du besoin, des méthodes dédiées, plus sensibles, seront développées. L'approche semi-quantitative a pour objectif de rendre un résultat pertinent au légiste et au requérant le plus précocement possible mais aussi de faciliter le dosage de la substance en affinant si besoin la gamme à la concentration attendue. Après plusieurs mois d'utilisation sur des dossiers, la confrontation des résultats du dosage à l'évaluation semi-quantitative permettra de juger objectivement de la fiabilité de l'approche et donc de libérer les rapports intermédiaires avec résultats semi-quantitatifs. Lorsque les substances ne sont pas connues du laboratoire (non incorporées dans les méthodes), ces deux techniques sont particulièrement complémentaires. La CPG/SM, grâce à l'universalité de ses bibliothèques (qu'elles soient commerciales comme la MPW ou collaboratives comme la SWDrug), apporte des informations précieuses pour identifier des substances inconnues au laboratoire mais, seules les substances volatiles et thermostables étant détectables, elle souffre du nombre limité de substances éligibles. Quant à la CLHP/SMHR, grâce à son ionisation douce, elle est plus universelle et permet la mise en évidence d'un plus large panel de substances. De plus avec la technologie utilisée lorsque l'appareil détecte une substance chromatographiée, il déclenche automatiquement sa fragmentation sur plusieurs énergies de collision et donc l'acquisition de son spectre. Ainsi pour chaque substance, la connaissance de sa masse exacte et du ratio isotopique de l'ion précurseur

permet de remonter à sa formule brute qui, associée à son spectre de fragmentation mais aussi à son temps de rétention, facilite grandement son identification. L'utilisation d'outils d'identification fiables et rapides devient un véritable challenge pour tous les laboratoires de toxicologie. Ces dernières années, en sus des substances dites classiques, de nouvelles molécules ont fait leur entrée au laboratoire : les NPS ou nouveaux produits de synthèse. Synthétisées pour échapper à la classification sur la liste des stupéfiants, elles inondent le marché mondial et s'imposent également en France [12]. Leur recherche est l'une des futures exigences du futur texte de la chancellerie régissant l'expertise toxicologique de référence. Face à cela les seules alternatives pour les laboratoires restent l'acquisition d'outils d'identification performants mais aussi l'augmentation de la coopération entre laboratoire notamment via l'échange de spectres de référence (comme cela est déjà le cas pour la CPG/SM et l'infrarouge entre les laboratoires étatiques européens de l'ENFSI).

4.3. Dosage de la substance identifiée

La dernière étape du criblage reste le dosage de la substance identifiée. Comme nous l'avons rapporté précédemment, le dosage mais surtout son interprétation sont conditionnés par les matrices à disposition. Au laboratoire nous réalisons majoritairement nos dosages par calibration externe en spectrométrie de masse tandem, qu'elle soit couplée à la CLHP ou la CPG. Lors de l'emploi du mode MRM, un ion parent est sélectionné dans le premier quadripôle puis fragmenté dans le second et enfin l'un des ions produit est sélectionné dans le dernier analyseur. Ces dernières années les vitesses d'acquisition des analyseurs ont fortement augmenté ce qui permet de doser simultanément un nombre toujours plus important de substances. De plus les progrès des outils informatiques permettent d'optimiser toujours plus les plages d'acquisition en restreignant le nombre de substances suivies par plages, augmentant ainsi le temps passé par l'analyseur sur chaque transition. Cette approche grâce à sa grande spécificité assure également une grande sensibilité à la méthode. Il convient cependant de s'assurer de la qualité des résultats en utilisant des étalons internes adaptés et des contrôles qualité internes. Lorsqu'un dosage

n'est pas jugé fiable en raison d'un effet matrice trop important, il faut alors recourir à un dosage par ajout dosé si le volume d'échantillon présent le permet.

5. Conclusion

Qu'elle soit basée sur des technologies ultramodernes ou plus classiques, la stratégie analytique mise en place pour les recherches des causes de la mort garde son but initial : donner au toxicologue analyste et au médecin légiste des éléments d'interprétation quant à l'implication d'une substance dans un effet chez une personne décédée. Le résultat d'analyse n'est pas le but final de l'expertise toxicologique, il en est juste une étape et souvent une étape plus aisée que son interprétation. Fort du résultat, l'expert doit l'interpréter au regard des données de la littérature scientifique. Cependant en raison des nombreuses sources de variation et d'incertitude, il doit aussi le replacer dans son contexte global. Les habitudes de vie et de consommation (et conséquemment une éventuelle tolérance), la chronologie présumée des faits, la chronologie des actes de police scientifique et de médecine légale, l'état du cadavre lors de sa découverte ou à l'autopsie, le lieu de découverte, etc. sont autant d'informations influençant l'interprétation, auxquelles l'expert n'avait pas forcément eu accès. Or ces données sont importantes, elles peuvent « innocenter » certains toxiques et expliquer la présence de certains autres (éthanol, GHB, etc.). Les obtenir est nécessaire et invite à échanger avec les autres acteurs du dossier (enquêteurs, magistrats, médecin légiste), ceux-là même à l'origine de l'expertise. Ainsi l'expertise toxicologique est un élément constitutif et important dans la recherche des causes de la mort. Elle est influencée dans l'ensemble de son processus (analyses et interprétations) par des éléments peu maîtrisables que les médecins légistes et les toxicologues vont tenter au mieux de standardiser. Pour autant, la multiplicité des situations, des combinaisons et leurs influences invitent même le plus expérimenté des experts à une grande humilité.

Liens d'intérêts : les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts avec le contenu de cet article.

Références

- [1] Pépin G, Deveaux M, Goullé J-P, Kintz P, Marquet P. Les prélèvements d'autopsie nécessaires à la bonne exécution des expertises toxicologiques. SFTA n.d. <http://sfta.org/pages/view/consensus-2005> (accessed May 7, 2016).
- [2] Alvarez J-C. Prélèvements biologiques post mortem et sur le vivant. Traité de toxicologie médico-judiciaire. 2nd ed., Issy les Moulineaux: Elsevier Masson; 2012, p. 195-218.
- [3] Bernard de la Gatinais L. Tarification des analyses toxicologiques - Éléments d'interprétation (2006/3714/DSJ/AB3) 2006.
- [4] Roussel O, Risède P, Baud FJ, Houzé P. Influence du site de prélèvement sur l'étude cinétique et métabolique de l'éthanol. Annales de Toxicologie Analytique, vol. 24, EDP Sciences; 2012, p. 165-75.
- [5] Perrin M, Halart E, Coste D, Lecompte Y, Lhermitte M. Usage de stupéfiants au volant, bilan des résultats de deux laboratoires (CHRU Lille et IRCGN). Annales de Toxicologie Analytique 2012;24:129-37. doi:10.1051/ata/2012015.
- [6] Roussel O, Suply B, Perrin M. Intoxication au méprobamate : à pro-

pos de deux cas. Annales de Toxicologie Analytique 2008;20:89-95. doi:10.1051/ata/2009006.

[7] Chinaka S, Takayama N, Michigami Y, Ueda K. Simultaneous determination of cyanide and thiocyanate in blood by ion chromatography with fluorescence and ultraviolet detection. J Chromatogr B Biomed Sci Appl 1998;713:353-9.

[8] Goullé J-P, Mahieu L, Castermant J, Neveu N, Laine G, Nouveau M-P, et al. Validation d'une technique de dosage multiélémentaire des métaux par ICP-MS dans les milieux biologiques. Annales de Toxicologie Analytique 2003;15:271-80. doi:10.1051/ata/2003006.

[9] Nováková L, Vlcková H. A review of current trends and advances in modern bio-analytical methods: chromatography and sample preparation. Analytica Chimica Acta 2009;656(1-2):8-35.

[10] Rentsch KM. Knowing the unknown - State of the art of LCMS in toxicology. Trends in Analytical Chemistry 2016:1-6.

[11] Jiang H, Cao H, Zhang Y, Fast DM. Journal of Chromatography B. J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci 2012;891-892:71-80.

[12] Nefau T, Martinez M. Nouveaux produits de synthèse identifiés en France depuis 2000. OFDT 2015:1-3.

L'identification de victimes de catastrophe: une approche scientifique pluridisciplinaire

Emmanuel Gaudry^a, Laurent Dourel^b, Aimé Conigliaro^c, Charles Georget^c, Xavier Desbrosse^d, Sylvain Hubac^e

RÉSUMÉ

La France a connu ces deux dernières années une actualité particulièrement dramatique. L'accident aérien d'un Airbus A320 de la compagnie Germanwings en avril 2015, dans les Alpes de Haute Provence et les effroyables attentats en novembre 2015 à Paris ou en juillet dernier à Nice qui ont défrayé la chronique. Ces événements particulièrement meurtriers, mais très différents de par leur nature, ont mis sous le feu des projecteurs médiatiques et des attentions des autorités un travail particulier, pluridisciplinaire et complexe : l'identification de victimes de catastrophe de masse.

ADN - ante mortem - comparaison - conciliation - empreintes digitales - identification de victimes de catastrophe - odontologie médico-légale - post mortem - relevage.

1. Introduction

S'entend par les termes catastrophes de masse, la survenue d'événements qui vont choquer l'opinion publique par leur caractère imprévisible, parfois violent, générant un grand nombre de victimes et bénéficiant d'une formidable caisse de résonance médiatique, accentuée désormais par les médias chauds et réseaux sociaux en tous genres. Contrairement à ce qui peut être parfois rapporté, l'identification de victimes de catastrophes de masse suit un processus qui prend du temps. Elle nécessite de déployer différentes équipes qui vont appliquer des protocoles internationaux, admissibles par le plus grand nombre.

2. Identification de victimes: savoir-faire de l'IRCGN et de ses experts

Ces travaux d'identification sont sous la responsabilité du pays dans lequel l'événement a eu lieu. Il s'effectue dans un cadre strictement national (victimes originaire du

pays où l'événement s'est produit) ou international (site de l'événement situé à l'étranger ou victimes multinationales). En effet, la mondialisation a pour conséquence que ces catastrophes ne se cantonnent plus désormais à un niveau national mais dépassent souvent les frontières. De ce fait, la mission d'identification de victimes répond à une méthodologie stricte. Elle peut être parfois longue, interminable, pour les familles éprouvées, souvent fastidieuse et généralement complexe. Néanmoins, les autorités doivent garantir que les victimes aient été traitées avec

SUMMARY

Victims' identification of disaster: a multidisciplinary scientific approach

France knew these last two years particularly dramatic events. The air accident of an Airbus A320 of the company Germanwings in April, 2015, in the Alpes de Haute-Provence and the horrifying attacks in November, 2015 in Paris or last July in Nice made the news. These particularly murderous, but very different events due to their nature, put under the spotlights media and attentions of the authorities a complex and multi-disciplinary work: mass disaster victims' identification.

DNA - ante mortem - comparison - reconciliation - fingerprints - disaster victim identification - forensic odontology - post mortem - recovery.

Liste des abréviations

ANTS	Agence nationale des titres sécurisés
BEA	Bureau d'enquêtes et d'analyses
CIVG	cellule d'identification de victimes de catastrophe
CNICG	Centre national d'instruction cynophile de la gendarmerie
DVI	<i>Disaster victims identification</i>
MAEDI	Ministère des Affaires étrangères français et du Développement international
NRBC	Nucléaires, Radiologiques, Biologiques, Chimiques
SSA	Service de santé des armées
UGIVC	Unité gendarmerie d'identification de victimes de catastrophe
UNIVC	Unité nationale d'identification de victimes de catastrophe

Institut de recherche criminelle de la gendarmerie nationale (IRCGN)

5, boulevard de l'Hautil - Caserne Lange
95037 CERGY-PONTOISE CEDEX (France)

- a** Unité Gendarmerie d'identification de victimes de catastrophes, IRCGN
- b** Département Faune Flore Forensique, IRCGN
- c** Département Médecine-légale Odontologie, IRCGN
- d** Département Empreintes digitales, IRCGN
- e** Service central d'analyse génétique de la gendarmerie, IRCGN

Correspondance

emmanuel.gaudry@gendarmerie.interieur.gouv.fr

article reçu le 30 août 2016, accepté le 30 septembre 2016.

© 2016 – Elsevier Masson SAS – Tous droits réservés.

humanité, égalité et que les corps qui seront rendus aient été identifiés de manière certaine.

Redonner son identité à un corps ou fragment de corps nécessite invariablement d'adopter une approche pluridisciplinaire dans la recherche des informations, leur exploitation et leur croisement. Cela répond à trois volets : *ante mortem*, *post mortem* et conciliation. L'analyse comparative des données (conciliation) doit conduire à l'identification formelle de la personne considérée disparue jusqu'alors. Identifier c'est (re)donner un nom à un mort et par conséquent confirmer la mort d'une personne jusqu'alors considérée comme disparue.

2.1. Pourquoi identifier ?

Redonner une identité à un corps en passant par des moyens scientifiques n'est pas systématique. En effet, suite à un accident de la route mortel ou autre événement où le nombre de personnes décédées est peu important et que les corps ne sont pas dégradés, la reconnaissance visuelle par un proche ou le rapprochement avec les documents d'identité sont couramment employés. Cependant, lors d'une catastrophe de masse, le nombre important de victimes augmente le risque d'erreur. L'identification scientifique ou positive est alors nécessaire. C'est une exigence légitime, notamment chez les Occidentaux qui exigent la restitution des corps afin de pouvoir entamer leur travail de deuil.

Dans certaines religions, comme le judaïsme, c'est une obligation. Depuis 1995, l'association israélienne ZAKA¹ a pour vocation de collecter les fragments de corps à la suite d'accidents ou d'attentats [1]

Elle peut également revêtir un caractère à la fois historique et humanitaire lors d'exhumation de corps dans des charniers contemporains [2], voire plus anciens (*voir encadré*). L'identification fait partie intégrante de la réponse à ce type

de crise. Pourtant cette attente qui n'est pas forcément répandue dans toutes les cultures, tend à évoluer au cours du temps vers une généralisation, symptomatique d'une volonté d'égalité de traitement des victimes.

2.2. L'effet tsunami

Depuis les années 1980 et 1990, avec la création d'une communauté scientifique dédiée à cette problématique² et à la suite d'événements majeurs comme le tsunami en Asie du Sud-Est en 2004, l'identification de victimes s'est fait connaître ou reconnaître par le plus grand nombre, mais s'est également surtout structurée et professionnalisée. Face à l'ampleur de cette calamité, il a été nécessaire d'engager pendant plus d'un an et demi des dizaines d'équipes internationales, avec la mise en place d'un *International management centre* à Phuket, chargé de l'intégration de l'intégralité des données *ante*, *post mortem* et des rapprochements, chose inédite jusqu'alors à cette échelle. Ceci a bouleversé le travail des spécialistes de cette discipline et favorisé la création d'équipes similaires à travers le monde : une communauté « DVI » (*Disaster victims identification*) a ainsi vu le jour.

Dans ce contexte et pour faciliter l'admissibilité de la méthode employée par le plus grand nombre, des protocoles issus d'autres disciplines (sciences forensiques, médecine légale ou archéologie) ont dû être adaptés à ce type d'événements.

Des équipes nationales DVI ont ainsi été créées, des guides et formulaires dits « DVI » existent désormais dans différentes langues, des exercices grandeur nature rassemblent des spécialistes du monde entier et des formations sont proposées par certains groupes. En France, une récente instruction interministérielle datée du 13 avril 2016, relative à la gestion des victimes d'actes de terrorisme, initiée après les attaques de l'Hyper Cacher et de *Charlie Hebdo*³, préconise le nécessaire respect des protocoles d'identification de victimes de catastrophes (IVC) conformes aux directives Interpol et s'appuie sur les cellules d'identification *ante* et *post-mortem* et précise notamment l'établissement d'une liste unique des victimes, sous la responsabilité du Procureur de la République de Paris [3].

2.3. Les différents types de « DVI »

La première difficulté réside, pour les intervenants mais surtout les autorités, dans la définition d'un bilan prévisionnel du nombre de victimes. Selon les catégories de catastrophe, le nombre à identifier peut varier significativement. On peut ainsi en quelque sorte « classer » ces situations.

2.3.1 Les catastrophes « fermées »

Il s'agit d'événements provoquant un grand nombre de victimes et dont un bilan peut être déduit d'une liste de personnes ou d'un manifeste. C'est le cas des accidents aériens, de navires à passagers ou d'attaque terroriste dans un hôtel (registre portant mention des clients)

Identification de soldats de la Grande guerre à Fromelles

De mai à août 2009, les dépouilles mortuaires de 250 soldats la 5^e division de l'*Australian Imperial Force* et de la 61^e division de l'armée britannique, morts au combat en 1916, ont été exhumés de six fosses communes situées à proximité du bois des faisans (*Pheasant wood*) situé à la sortie du village de Fromelles, près de Lille. Un projet, coordonné par les gouvernements britannique et australien, par l'intermédiaire du *Fromelles Management Board*, regroupant des spécialistes de différents domaines dédiés à l'identification et à l'archéologie a permis d'exhumer scientifiquement les corps des soldats et leurs effets afin de permettre leur identification. L'unité en charge des disparus de guerre de l'armée australienne mit sur pied une équipe afin de retrouver les descendants des soldats tombés à Fromelles. Les échantillons ADN et informations collectées lors des exhumations, comparés aux ADN des descendants et des renseignements recueillis sur ces soldats disparus, ont permis d'établir l'identité de certains d'entre eux : en 2015, 144 des 250 dépouilles de soldats avaient été identifiées, appartenant à l'*Australian Imperial Force*. (source www.cwgc.org)

1. Pour Zihuy Korbanot Asson : identification de victimes de catastrophes
2. Résolution N°AGN/65/RES/13 de l'assemblée générale d'Interpol, Antalya (1996).

3. Des attaques terroristes se sont déroulées entre les 7 et 9 janvier 2015, visant les locaux de l'hebdomadaire *Charlie Hebdo*, des policiers, la supérette Hyper Cacher et ont provoqué la mort de 17 personnes.

Figure 1 – Ravages du tsunami en Asie du sud est en 2004.



© E. Gaudry

2.3.2 Les catastrophes «ouvertes»

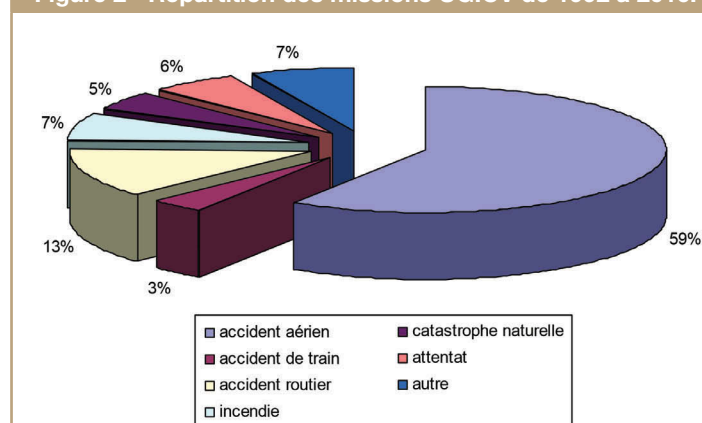
Les catastrophes «ouvertes» au contraire posent des difficultés, car le nombre de personnes disparues ou de victimes effectives est indéfinissable et généralement très important, comme lors de calamités naturelles, en l'absence de référence. Le bilan inévitablement lourd doit s'entendre par conséquent comme global, car totalisant à la fois les morts et disparus. Il en existe malheureusement de nombreux exemples à l'instar du Tsunami en Asie du Sud Est en 2004 (250 000 victimes) [4], du tremblement de terre en Haïti en 2011 (300 000 victimes), à Fukushima en 2012 (16 000 victimes), au Népal en 2015 (8 000 victimes) (figure 1).

Les récents attentats à Paris le 13 novembre 2015 ou en Belgique le 22 mars 2016 (aéroport de Zaventem et métro Maelbeek) appartiennent également à cette classification. Bien que l'on puisse les associer à la catégorie précédente, car partageant les mêmes conséquences, on distingue les catastrophes dites «complexes» ou «combinées», car regroupant les deux caractéristiques évoquées. En 1988, une bombe explose à bord d'un avion de ligne 747 de la Panam (Pan American World Airways, vol PAN 103) et s'écrase sur le village de Lockerbie en Écosse, causant la mort de 259 passagers et membres d'équipages, ainsi que de 11 personnes au sol [5]. En 2000, Concorde, avec à bord 100 passagers et 9 personnels navigants s'écrase à Gonesse, peu après le décollage, sur un hôtel abritant 4 victimes. En 2001, des avions de ligne percutent les *Twin Towers* et le Pentagone tuant des milliers de personnes. Les accidents aériens constituent la grande majorité des missions de l'UGIVC, depuis sa création, avec 59 % des interventions contre 5 % pour les catastrophes naturelles.

Mais ils ne sont pas les seuls faits nécessitant le déploiement d'équipes d'identification. En 2013, le déraillement d'un convoi de 72 wagons-citernes transportant du pétrole brut a provoqué des explosions et un incendie, dans la ville à Lac-Mégantic au Québec (Canada), tuant 47 personnes (catastrophe ouverte). Les accidents de train ont constitué 3 % de nos missions (figure 2).

Le 23 octobre 2015, un bus entre en collision avec un camion qui s'est déporté dans un virage à Puisseguin (Gironde), provoquant l'incendie des deux véhicules qui causera la mort de 43 personnes (catastrophe fermée). Les accidents routiers ont constitué également 13 % des engagements de l'UGIVC.

Figure 2 – Répartition des missions UGIVC de 1992 à 2016.



Source IRCGN

Cette typologie, évoquée précédemment, va immanquablement avoir des conséquences sur l'ensemble des composantes de la structure DVI, notamment pour le recueil de données *ante mortem* (cf. § 3. « *ante mortem* »).

D'autres paramètres influenceront sur le processus d'identification, plutôt sur le recueil de données *post mortem*. En effet, la nature même de l'évènement, qu'il soit d'origine naturelle, qu'il s'agisse d'un accident aérien, routier ou ferroviaire, va impacter nécessairement la suite des opérations d'identification. L'accident industriel, de nature chimique, biologique, nucléaire ou radiologique comme l'attentat terroriste appartiennent à une autre dimension, en raison des contraintes supplémentaires qu'ils vont engendrer. Les opérations de constatations et le relevage de corps vont faire l'objet de mesure de protection et protocoles particulier et adaptés. Il en sera de même sur les examens de corps et de leur gestion [6].

2.4. Le traitement des catastrophes

Le guide Interpol relatif à l'identification de victimes préconise que la direction des opérations pour ce type de mission doit revenir à des forces de sécurité [7].

Dans certains cas et selon la situation, elles peuvent être, tout ou partie, assurées par des organisations non gouvernementales (Croix rouge...), de consortium (voir encadré

Identification de soldats de la Grande guerre à Fromelles), voire même de sociétés privées mandatées par certains États. Il est important d'engager une démarche d'identification dans un cadre défini, qui va permettre de collecter des renseignements (identité, état civil, données médicales ou dentaires...), de procéder à des prélèvements et faire analyser ces prélèvements (ADN) ou d'exploiter des relevés (dentaires ou décadactylaires) puis de les comparer. En France, l'identification de victimes peut être ordonnée par les services de l'État (ministère des Affaires étrangères, lorsque des Français décèdent à l'étranger), via l'autorité judiciaire ou directement par cette même autorité.

Suite à un acte criminel (attaque terroriste, incendie volontaire...), ou lors d'un accident (aérien, industriel, routier ferroviaire), une enquête judiciaire est immédiatement diligentée pour rechercher les causes et les responsabilités. Elle donne alors un cadre juridique à l'identification des victimes. En dehors de ces situations, il reste possible d'engager des démarches. Un décret de 2012⁴, prévoit ainsi dans une procédure dite extrajudiciaire de faire procéder à des prélèvements et des analyses selon un formalisme similaire. Ce texte a permis de « légitimer » l'action de services chargés de l'identification et de faciliter leur travail [8].

2.5. Le « DVI » : une machine complexe

Le guide Interpol prévoit différentes phases en matière d'identification de victimes de catastrophe. Chacune d'entre elle peut en outre être décomposée en une série d'étapes impliquant une multiplicité d'équipes et spécialistes (*ante* et *post mortem*), dont le moment d'activation et la durée de leur action vont varier, ce qui induira une nécessaire coordination de leur action.

Ce guide Interpol (187 pays membres) portant sur l'identification des victimes de catastrophes (IVC) a été publié en 1984 et révisé régulièrement. Ce guide a été traduit en quatre langues (français, anglais, espagnol et arabe). Il est accessible, tout comme les formulaires (relevage, *ante mortem*, *post mortem*, certificat de comparaison et rapport d'identification), sur le site Interpol [7]. Ce document délivre notamment aux pays membres des recommandations, sur la mise en place des équipes spécialisées, la conduite des opérations, la nécessaire coordination des équipes ou les aspects techniques et conseils sur l'utilisation des formulaires, destinés à l'enregistrement des données d'identification *ante mortem* et *post mortem*.

Le processus d'identification des victimes de catastrophes est le fruit des leçons tirées de l'application de protocoles éprouvés par différentes équipes à travers le monde. Il tire par conséquent sa reconnaissance et sa crédibilité de ses contributeurs, qui ont eux-mêmes assuré ces opérations. Les phases du processus d'identification des victimes définies dans ce guide sont les suivantes (figure 3) :

- **Phase 1 :** relevage des restes humains et des objets personnels sur le site de la catastrophe
- **Phase 2 :** recueil de données *post mortem* par examen détaillé des restes humains
- **Phase 3 :** recueil de données *ante mortem* relatives à la personne disparue auprès de différentes sources
- **Phase 4 :** confrontation des données *post mortem* et *ante mortem*.

Figure 3– Les différentes phases de l'identification de victimes.



© A. Baaklini

Figure 4 – Accident du vol AH5017 au Mali en juillet 2014.



© E. Gaudry

De manière concrète et chronologique, l'équipe post mortem, chargée du relevage, est mise en alerte dès l'annonce de l'événement afin de se porter au plus près du site pour assurer les opérations de relevage de corps et de fragments de corps (cf. § 2 «phase 1»). L'équipe *ante mortem* doit se préparer concomitamment, afin d'être en mesure d'absorber le flot d'informations qu'elle devra traiter avant même souvent la communication d'une liste définitive de victimes⁵. Elle sera positionnée à un niveau central ou envoyé sur le terrain (cf. § 3 «phase 2»). Une autre équipe sera chargée des examens de corps sur une structure de type hospitalière ou foraine (cas de l'accident du vol de la Germanwings en 2015 ou dans le désert malien sous des tentes en 2014) (figure 4). Sans attendre, l'équipe chargée des rapprochements va être mise en place.

À chacune de ces étapes et au sein même de ces composantes, évoluent médecins légistes, dentistes, anthropologues, experts en biologie ou en empreintes digitales, spécialistes de scène de crime, photographes, enquêteurs... Chacun a un rôle essentiel, ils constituent le chaînon d'une organisation globale et répondant à une démarche normalisée car répondant à des protocoles communément admis par sa communauté.

2.6. La naissance de l'unité gendarmerie d'identification de victimes de catastrophe (UGIVC)

Lorsqu'un Airbus A320 de la compagnie Air Inter, reliant Lyon à Strasbourg s'écrase le 20 janvier 1992 près du Mont Sainte-Odile en Alsace, l'IRCGN est un jeune laboratoire de criminalistique, sans unité spécialisée en identification.

Le bilan est lourd : 87 passagers et membres d'équipage périrent et 9 personnes survivrèrent [9]. Le directeur adjoint de l'IRCGN propose aux services de gendarmerie locaux, en charge des opérations de recherches, l'aide de spécialistes, qui connaîtront leur première mission (fondatrice) d'identification de victimes de catastrophe, aux côtés de l'institut de médecine légale de Strasbourg [9]. Par la suite, sera créée la cellule d'identification de victimes de catastrophe (CIVC) qui deviendra, en novembre 2000, l'unité gendarmerie d'identification de victimes de catastrophe (UGIVC). La sous direction de la police technique et scientifique d'Ecully, créera alors l'unité police d'identification de victimes de catastrophe. En 1999, l'incendie du Mont Blanc⁶ sera leur première mission commune, prémices de l'unité nationale d'identification de victimes de catastrophe (UNIVC). D'autres suivront ensuite (Tsunami, tremblement de terre en Haïti, accident du vol Rio-Paris...). En 2001, une convention, amendée en 2004, fixera les conditions d'engagement de l'UNIVC⁷. L'unité gendarmerie d'identification de victimes de catastrophe totalise plus de 80 missions en France métropolitaine, outre-mer et à l'étranger. Quel que soit le type de catastrophe, chaque information compte, car la mise en perspective de l'une par rapport à l'autre peut être déterminante. Toute approche

4. Décret n° 2012-125 du 30 janvier 2012 relatif à la procédure extra-judiciaire d'identification des personnes décédées

5. La circulaire d'avril 2016 prévoit la mise en place d'une cellule inter-ministérielle d'aide aux victimes (CIAV), chargée d'établir une liste unique de victimes (LUV).

6. Du 24 au 26 mars 1999, l'incendie d'un semi-remorque, transportant de la margarine, a causé la mort de 39 personnes. Le tunnel restera fermé pendant 3 ans.

7. Convention relative à l'identification de victimes de catastrophe (IVC) DGPN / DGPN du 9 octobre 2001 et amendée le 3 novembre 2014.

Figure 5 - Constatations d'un accident aérien à Grenoble en 2013.



© IRCGN

mono-disciplinaire (priorisation d'une discipline à l'exclusion des autres) fait prendre un risque pour la suite (absence de données de comparaison, données parcellaires...). Les différents contributeurs détailleront dans les chapitres qui suivent le rôle essentiel de leur discipline d'appartenance et surtout les connections nécessaires entre ces différentes composantes (*ante* et *post mortem*) et spécialités (biologie moléculaire, empreintes digitales, odontologie et médecine légale), chacune constituant le maillon essentiel d'une chaîne.

3. Phase 1 : relevage des restes humains et des objets personnels sur le site de la catastrophe

Le 24 mars 2015, un Airbus A320 de la compagnie Germanwings s'écrase dans les Alpes des Hautes Provence, sur la commune de Prads-Haute-Bléone. Les 144 passagers et les 6 membres d'équipage décèdent dans cet accident dû à un acte volontaire du copilote. D'importants moyens sont mobilisés. Près de 400 pompiers, 350 gendarmes, (spécialistes de haute montagne, gendarmes mobiles, criminalistes...), des services d'urgence, ainsi que policiers (compagnies républicaines de sécurité, spécialistes de haute montagne, criminalistes) sont engagés. Des hélicoptères de la gendarmerie, de la sécurité civile et des Armées sont déployés (respect de l'interdiction de survol de la zone, recherche, transport des équipes d'identification...), ainsi que des aéronefs de l'armée de l'Air et de la sécurité civile (liaisons radio et reconnaissance). Au milieu de cet imposant dispositif inédit, la mission d'identification de victimes doit débuter.

La survenance d'un événement majeur va déclencher la mise en œuvre de plans divers dans un ensemble de composantes (ordre public, secours) et donc l'activation des premiers intervenants (service de police ou de gendarmerie, services d'incendie, de secours). La phase qui

suit le plus souvent est celle de l'enquête, ou plutôt des enquêtes (judiciaire, administrative) qui ont pour but d'établir les causes et les responsabilités. Les acteurs chargés de l'identification de victimes interviennent très précocement dans le dispositif et quasi systématiquement dès la fin des opérations de secours, parfois même alors qu'elles sont toujours en cours. Il est essentiel d'aborder un site de catastrophe à l'instar d'une scène de crime complexe et d'y appliquer une méthodologie similaire, suivant les recommandations du guide IVC Interpol [7]. Car aucune information ne doit être oubliée.

3.1. Des constatations de scène de crime

La scène doit être tout d'abord délimitée et en interdire l'accès à toute personne étrangère aux opérations,

afin de préserver les différents éléments. Ce «gel des lieux» doit être suffisamment large pour permettre l'exhaustivité de la collecte des éléments qui suivra. Un système de piquets va alors être mis en place, sur lesquelles sera fixé un ruban ou *rubalise*, pour matérialiser ce périmètre.

La zone doit être ensuite subdivisée en différents secteurs, afin d'ordonner et coordonner l'action des spécialistes et de localiser tous les éléments. Une codification alphanumérique s'applique alors, afin d'affecter une référence à chacun de ces «carrés» (la configuration du terrain décidant le plus souvent de la forme géométrique). Il arrive parfois que cette sectorisation soit très difficile voire impossible comme ce fut le cas dans le désert du Mali, suite à l'accident du vol Air Algérie en juillet 2014 ou dans le massif des trois Évêchés dans les Alpes de Hautes Provence dans l'accident dit de la Germanwings.

Le travail qui va suivre est la fixation des lieux. Pour ce faire, il existe différents moyens possibles. Un ratissage des secteurs est réalisé (*figure 5*), ce qui va permettre de poser des repères (index) numérotés sur les éléments pertinents (médicaux, dentaires, biologiques, à caractère indicial, effets personnels : vêtement, bijoux...) qui seront ensuite référencés pour pouvoir être par la suite repositionnés à des fins d'enquête si nécessaire. Il est essentiel de pouvoir connaître l'origine de tous les corps, fragments de corps ou objets provenant d'une même zone. À cet effet, chaque pièce est photographiée, avec son numéro unique et un test centimétrique, avant d'être prélevée. Sa localisation exacte peut avoir de l'importance.

Aussi, des mesures de la position des éléments d'intérêt pourront être prises classiquement ou par des moyens plus modernes comme la numérisation en trois dimensions à l'aide d'un laser scanner ou par géolocalisation à l'aide d'un système GPS [8].

De petits vecteurs aériens ou drones, voire des prises de vues par hélicoptères, peuvent également être utilisés. Cette démarche permettra une approche reconstructive future.

Figure 6 - Numérisation de la scène de l'accident routier à Puisseguin en 2015.



© Patrice Héraud

Chaque fragment ou pièce doit alors être conditionné, numéroté, inventorié et extrait de la zone avec le plus grand soin et dignité. Il est important de prévoir en amont l'évacuation des restes mortels et leur conservation, dans le cas où les examens qui vont suivre ne seront pas effectués sur le même site.

3.2. Un travail d'équipe

La sortie de zone doit également être documentée, à l'aide de formulaires dédiés.

Ce travail minutieux mais essentiel, nécessite de constituer des équipes et coordonner l'action de ces spécialistes de scène de crime, photographes, preneurs de notes, enquêteurs. Ils opèrent avec des médecins légistes, anthropologues ou d'odontologues médico-légaux rompus à cet exercice particulier. L'Institut de recherche criminelle de la gendarmerie nationale a depuis sa création bénéficié des compétences de praticiens du Service de santé des armées (SSA), servant en son sein ou par l'activation d'autres personnels d'active ou de réserve (voir chapitres suivants). Le plateau médico-légal local accueille ou renforce souvent le dispositif. Il en est de même pour les techniciens en identification criminelle départementaux, qui sont intégrés aux équipes de relevages. D'autres «corps de métiers», peuvent participer à cette phase de relevage-constatations, en fonction des besoins liés à la nature ou l'origine de la catastrophe.

En 1999, un incendie au niveau de la remorque d'un poids lourd se propage à l'intérieur du tunnel du Mont-Blanc, emprisonnant des dizaines de véhicules et leurs passagers. 39 victimes seront retirées de la structure. Pour ce type de catastrophe ouverte, la difficulté, était de connaître l'identité des passagers dans les carcasses calcinées. C'est la raison pour laquelle des experts en véhicules de l'IRCGN ont été dépêchés pour procéder au relevage de numéros identifiants qui permettront de recueillir les noms des propriétaires et de commencer le travail de collecte de données *ante mortem*.

L'incendie d'un centre équestre sur la commune de Lescheraines (Savoie), en 2004 (8 victimes), avait nécessité la présence d'experts de ce domaine, parmi l'équipe de relevage, pour établir l'origine du sinistre. En 2008, à Casavecchie (Corse) ce sont des experts en explosifs et des démineurs qui ont accompagné l'équipe d'identification, suite à une explosion dans un hangar agricole ayant causé la mort de deux personnes.

Désormais, l'équipe «Gel état des lieux»(département Signal-Image-parole, IRCGN), spécialisée dans la numérisation des scènes, est systématiquement engagée sur ce type de mission (figure 6).

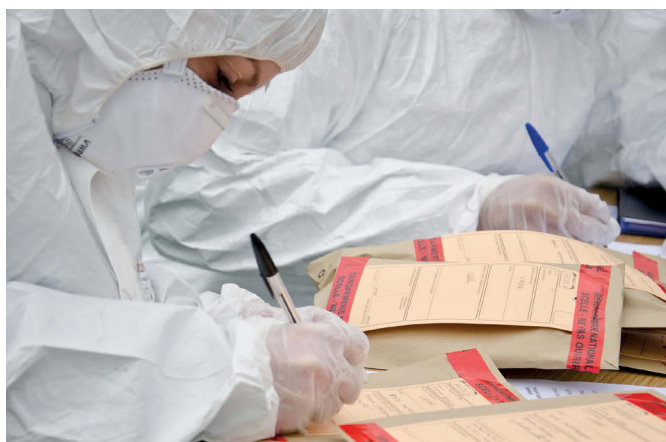
Comme on peut aisément le déduire, au moins deux types d'équipe sont sur site : l'équipe *relevage* et une autre équipe «*forensique*» appartenant à l'IRCGN. D'autres composantes de la gendarmerie peuvent être associées aux opérations. Tout d'abord, naturellement les enquêteurs, servant dans des unités spécialisées (section de recherche de la gendarmerie des transports aériens ou de la gendarmerie de l'air engagées respectivement sur les accidents aériens civils et militaires), la cellule nationale d'investigation cynophile (CNICG) de Gramat, qui a prêté son concours pour la recherche de corps suite au Tsunami (figure 7), voire également la cellule nationale NRBC de la Gendarmerie [11, 12].

Figure 7 - Recherche de corps avec une équipe cynophile de la gendarmerie en Thaïlande en 2005.



© E. Gaudry

Figure 8 - Mise sous scellé.



© IRCGN

Le concours d'unité de sapeurs-pompiers et de leurs moyens de désincarcération est parfois nécessaire, comme ce fut le cas lors d'un accident d'avion en Lozère (2013) [10].

Enfin les agents du Bureau enquête et analyse (BEA) du ministère des transports ou leurs homologues de la Défense sont des partenaires avec lesquels l'UGIVC a l'habitude de travailler.

La synergie entre ces services est primordiale. Ces derniers ont l'impérieuse nécessité de se connaître et surtout d'appréhender les contraintes de chacun. Il arrive souvent par ailleurs de s'aider réciproquement sur les opérations de relevage, voire d'adopter un même système de marquage des éléments d'intérêt respectif, avec toutefois des couleurs de support volontairement distinctes.

Un inventaire précis de tous les prélèvements doit être réalisé. Placés sous scellés, ils vont devenir des pièces judiciaires (figure 8). Depuis quelques années, l'apposition de codes-barres permet d'optimiser la gestion et le suivi des éléments, mais aussi des prélèvements qui suivront lors des examens *post mortem* et ce jusqu'à leur restitution.

Au cours des phases qui suivront (cf. § 3 «phase 2: collecte des données *post mortem*») ou qui se déroulent concomitamment (cf. § 4 «phase 3: collecte des données *ante mortem*»), une myriade de spécialistes travaillera d'arrache pied à la collecte, l'exploitation et la comparaison des informations *ante* et *post mortem*. Chacun d'entre eux constitue le maillon essentiel d'une formidable mécanique, dont le rendu des travaux se devra d'être irréprochable.

4. Phase 2: collecte des éléments d'identification sur les chaînes *post mortem*

À la difficile mission de relevage des corps et fragment de corps succèdent une autre étape tout aussi intense au sein des chaînes *post mortem*. Installées au sein de plateaux médico-légaux (attentats de Nice) ou de structures de circonstances (accident d'avion au Mali, Germanwings),

elles suivent invariablement la même démarche de recueil, d'examen, photographie, prélèvements d'éléments *post mortem* pouvant concourir à l'identification.

Chaque corps ou fragment est codifié (codes-barres), inventorié, conditionné avec le plus grand soin et dignité [7]. Il est tout aussi important de prévoir en amont les modes et capacités de conservation des restes mortels du site. Organisé en postes spécifiques où la rationalisation des actes techniques est optimisée, le recueil d'éléments PM doit résoudre la délicate équation de travailler souvent en mode dégradé, dans l'urgence, sans droit à l'erreur :

- **poste d'entrée de chaîne**, au sein duquel seront « triés » et décrit par des médecins légistes les éléments avant d'être orientés vers l'un des autres postes ;
- **poste «prélèvements ADN»**, où en fonction de la nature des éléments, les modes de prélèvements seront adaptés pour faciliter les analyses qui suivront ;
- **poste «empreintes digitales»**, où il est procédé à des relevés décadactylaires, après parfois différentes étapes de restructuration de la peau ;
- **poste «odontologie»**, où les spécialistes pourront renseigner des odontogrammes et procéder à des examens radiologiques ;
- **poste «photographies d'objets et documents»**, qui pourront être utiles par la suite
- **poste «traçabilité»**, pierre angulaire du dispositif, car chaque élément une fois relevé doit pouvoir être tracé jusqu'à l'ultime étape d'appariement.

Véritable fourmilière, travaillant parfois 24h/24, on retrouve donc la pluridisciplinarité des autres phases de l'identification avec des médecins légistes, odontologistes, spécialistes en empreintes digitales, en ADN, preneur de notes, photographes, dont chacun poursuivra le renseignement et la documentation des formulaires *post mortem* tout au long de ce processus.

Afin de répondre aux attentes légitimes des familles de victimes de voir le corps de leurs proches disparus rendu au plus vite, ces spécialistes, qui parfois n'ont jamais travaillé ensemble, adaptent lors de chaque mission leur pratique, dans un souci constant d'efficacité sans concession sur la qualité. Cette phase 2 n'est qu'un maillon de l'identification avant la prochaine étape d'analyse et de comparaison des données

5. Phase 3: le recueil de données *ante mortem*

La cellule *ante mortem* (AM) a pour délicate tâche de recueillir toutes les données *ante mortem* nécessaires à l'identification formelle des victimes, selon le protocole Interpol [7]. Elle a également pour objectif de permettre au magistrat de disposer lors de la commission d'identification, des éléments nécessaires afin de prononcer à l'identification formelle des victimes.

Ces travaux sont conduits avec rigueur et méthode dans un contexte émotionnellement difficile. En effet, au-delà de l'aspect purement technique, la difficulté du recueil *ante mortem* réside dans le contexte et l'environnement

de travail. La cellule doit se rapprocher des familles et proches des disparus dans un environnement à forte émotion collective liée au nombre important de victimes mais aussi au caractère brutal et violent des faits. Il est nécessaire d'évoluer avec la plus grande sérénité possible au sein d'un dispositif aux acteurs et missions multiples : service de secours, psychologues, médias, cellules de crises, administrations.

5.1 Composition de la cellule *ante mortem*

La diversité des actions à suivre oblige d'articuler la cellule AM en une myriade de sous-groupes :

- **un secrétariat AM** chargé d'instruire et suivre les dossiers en tenant à jour les données et appelant l'attention du chef de la cellule sur des points posant difficultés. Il constitue le point clé du dispositif ;
- **un groupe état civil** chargé de solliciter les mairies pour recueillir des actes de naissance, de prendre attache avec les préfectures ou l'agence nationale des titres sécurisés pour l'obtention de données d'identification, sous le contrôle d'officiers de police judiciaire à compétence nationale ;
- **un groupe médecine légale-odontologie** composé de chirurgiens-dentistes et de médecins qui prennent attache avec leurs confrères, la sécurité sociale ou les conseils ordinaires pour recueillir les données dentaires et médicales ;
- **un groupe ADN** : qui a pour tâche d'organiser et de réaliser les prélèvements biologiques auprès des parentèles des victimes ;
- **un groupe contrôle qualité** : qui vérifie sur le plan qualitatif quantitatif l'ensemble des données recueillies par la cellule.

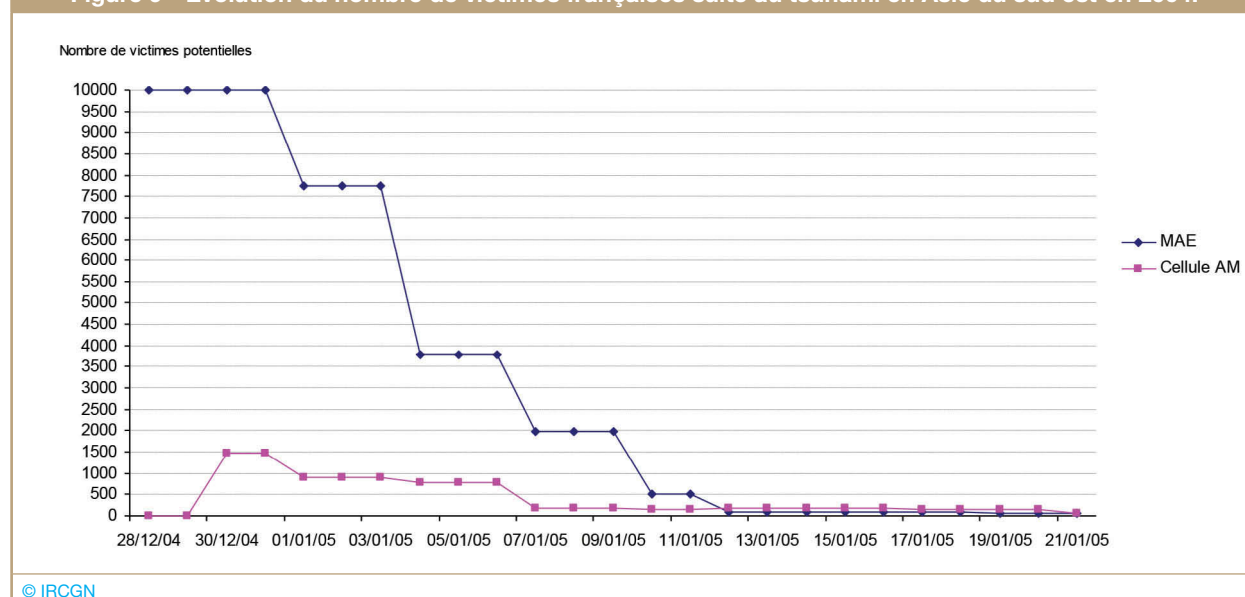
Le recueil *ante mortem* (AM) s'inscrit donc dans un contexte dans lequel l'interdisciplinarité fait foi.

5.2 Quelle liste de victimes?

En amont de ce travail de collecte, il est essentiel que soit établie et consolidée une liste unique des victimes (LUV) et donc des familles à contacter. Dès sa mise en place, cette cellule se rapproche de toutes sources potentielles d'information telles que les cellules d'enquêtes, de crise mise en place par les préfectures ou aéroports, le ministère des Affaires étrangères français et du Développement international (MAEDI) ainsi que les représentants des cellules d'identification de victimes des pays étrangers (DVI). Par ailleurs, ce travail de synthèse se réalise en constante symbiose avec la composante *post mortem*.

Ainsi, 24 heures après le terrible tsunami qui a touché le Sud-Est asiatique fin décembre 2004, la cellule AM a débuté son travail d'établissement d'une liste fiable de victimes. Mais très vite, elle a été confrontée à l'afflux de données d'origine diverses [13, 14]. La première liste reçue était fournie par la cellule de crise du MAEDI. Elle regroupait un ensemble de noms indistinctement issus d'une simple demande d'information de proches concernant des personnes présentes dans la zone du Sud-Est Asiatique mais aussi de déclarations concernant des proches pour lesquels il n'y avait plus de nouvelles. Et ceci, avec parfois des orthographes qui variaient en fonction des déclarants. En raison du volume et des fluctuations du nombre de victimes potentielles, la cellule AM a dû réaliser un recouplement de données à partir d'autres listes, en contactant les groupes hôteliers, les gendarmes en poste en ambassade dans tous les pays touchés par le tsunami et également en sollicitant la liste de tous les ressortissants rapatriés à l'aéroport Charles de Gaulle en France. Ainsi, d'une liste de 10 000 noms dans les premiers temps qui ont suivi le tsunami, à la liste quasi définitive (72 victimes au total), il a fallu environ 25 jours (**Figure 9**). Pendant ce temps, un travail de recueil de données était mené auprès de familles de victimes pour lesquelles il n'y avait malheureusement aucun doute sur leur devenir.

Figure 9 - Évolution du nombre de victimes françaises suite au tsunami en Asie du sud est en 2004.



5.3 La stratégie de recueil de données

Cette stratégie de recueil doit s'adapter en fonction du type de catastrophe mais surtout de l'état des victimes. Il est évident que le protocole Interpol est systématiquement appliqué à chacune des catastrophes. Cependant, dans un souci d'optimisation [i.e permettre de restituer aux familles le(s) corps de leur(s) proche(s) dans des délais les plus courts], le recueil AM peut cibler prioritairement l'un des trois éléments primaires d'identification. Ainsi, en présence de corps polyfragmentés, le recueil d'ADN auprès des parentèles est privilégié. Cependant, les autres données ne sont pas écartées. Dans le cadre de l'accident du vol AH 5017 au Mali (116 victimes), les empreintes digitales et les données dentaires ont permis d'identifier 8 personnes dont la pertinence des références ADN était insuffisante.

Un protocole de contrôle qualité des données AM s'applique en permanence au long du processus (empreintes digitales, données dentaires, l'ADN, tatouages, antécédents opératoires, prothèses...). Ce travail débute par la vérification de l'identité et la filiation de la victime via l'obtention des documents d'état civil, afin d'exclure tout risque d'homonymie, de mauvaise filiation ou de malversation.

Bien que le schéma général de recueils de données soit bien établi, chaque catastrophe apporte son lot d'imprévus et chaque famille ses spécificités. De plus, le travail ne s'organise pas de la même manière en fonction du type et du lieu de la catastrophe. Lors de l'accident aérien du vol Rio - Paris AF447 en 2009, une seule cellule AM a été mise en place au sein de l'RCGN (alors à Rosny Sous bois), recueillant les données à distance (téléphonie, internet) et en s'appuyant sur le réseau des cellules d'identification criminelle de la Gendarmerie nationale réparties sur l'ensemble du territoire. À l'inverse, certaines situations nécessitent un déplacement de l'intégralité de la cellule au plus près de l'événement. C'est le cas lorsque toutes les victimes sont originaires d'une même zone géographique. Cette option a été retenue lors de l'incendie d'un centre équestre à Lescheraines en Savoie (2004) faisant 8 victimes ou lors de l'accident en 2005 du vol 708 *West Caribbean Airways* (152 victimes originaires de la Martinique) et pour lequel la cellule AM s'est déployée à Fort de France, tandis que l'équipe PM œuvrait sur le site du crash au Venezuela. Un système, qui tend à être systématisé, consiste à projeter avec la cellule PM une équipe AM, tout en conservant une cellule AM nationale sur le site du Pôle Judiciaire de la Gendarmerie Nationale (Pontoise - France). Ainsi, cet élément déporté sur site a pour vocation de recueillir la liste des victimes auprès des autorités administratives et judiciaires locales, mais aussi de s'entretenir avec les familles ou proches qui seraient sur place de par leur lieu d'habitation ou du fait de leur déplacement, organisé ou non, sur la zone de l'accident. Ainsi, lors de l'accident de bus de Puisseguin (France) en 2015 (42 victimes), cette équipe AM s'est entretenue en deux jours avec 40 des 42 familles et a réalisé les prélèvements ADN sur les parentèles. Le travail de recueil auprès des deux autres familles ainsi que l'obtention des empreintes digitales, des prélèvements ADN complémentaires, des données dentaires et médicales a été conduit par la cellule AM centrale à Pontoise. Ce dispositif a pour avantage d'assurer une plus grande réactivité dans la recherche des données (le contact direct avec les familles est toujours privilégié) et d'optimiser les temps d'obtention et de traitement des données.

6. Phase 4 : confrontation des résultats et commission d'identification

Le travail de la cellule AM ne s'arrête pas au recueil de données. En effet, dès son activation, elle intègre dans son processus de gestion de données l'aspect réconciliation. En effet, la cellule possède la connaissance et maîtrise de l'ensemble des données recueillies et qui sont confrontées avec les données *post mortem* lors du comité technique d'identification et la commission d'identification. De ce fait, elle est la plus à même à organiser les données en vue de leurs confrontations, préparer et gérer l'organisation du comité technique et assurer le secrétariat et la préparation des rapports d'identification lors de la commission d'identification. Ce travail est particulièrement axé sur le contrôle qualité des données techniques afin de préparer le travail de rapprochement des éléments de corps (cas des corps polyfragmentés) et leur restitution aux familles. Suite à l'accident du vol 9525 de la compagnie Germanwings, le secrétariat de la cellule AM a fourni, à l'issue de la commission d'identification, l'ensemble des documents nécessaires au rapprochement des corps par les membres de l'UGIVC et les officiers de police judiciaire compétents.

7. L'odontologie médico-légale au cours des phases 1 à 4

L'odontologie médico-légale est une branche de la médecine légale qui traite de l'étude des dents et des maxillaires. En matière de catastrophe, l'expert odontologiste participe à l'identification des victimes aux côtés des autres experts (empreintes digitales, analyses ADN...).

7.1 Les dents, véritables cartes d'identité organique

La dent est fortement minéralisée. L'émail dont la matière minérale avoisine 95 % est le tissu le plus dur du corps humain. La dentine possède, en quantité moindre, un fort pourcentage de matière minérale qui se situe aux alentours de 70 %. Si l'on ajoute que les dents sont remarquablement protégées par les tissus environnants (os, langue, enveloppe musculo-cutanée...), il est facilement crédible que l'organe dentaire peut résister tout aussi bien à des phénomènes extrêmes tels que la putréfaction, l'immersion, la carbonisation qu'à l'agression d'agents chimiques ou physiques. Cette constatation est primordiale, et d'elle découle le grand intérêt porté pour cet organe en matière d'identification.

L'étude morphologique du tissu dentaire permet également de déterminer si des fragments isolés proviennent d'une même victime.

C'est aussi une source d'ADN non négligeable utilisable pour des comparaisons génétiques.

La dent est donc une source de données particulièrement précieuse pour l'identification des victimes carbonisées. Avec presque 95 % de victimes identifiées sur un ensemble de catastrophes dont celles du Temple Solaire en 1995

(100 %), la catastrophe du tunnel du Mont-Blanc en 1999 (79 %), le crash du Concorde en 2000 (99 %), l'accident autoroutier de l'A10 en 2003 (88 %), les éléments dentaires et prothétiques ont montré leur résistance à la crémation extrême. Même lorsque le recours à l'ADN est devenu impossible, les dents carbonisées peuvent encore être utiles pour une identification.

7.2 Rôle de l'odontologiste médico-légal

Le choix des odontologistes médico-légaux dans une équipe *ante* ou *post mortem* est le fruit d'une stratégie étudiée au coup par coup pour répondre au mieux aux besoins, c'est pourquoi il n'existe pas de schéma figé mais des schémas évolutifs et modulables pour chaque intervention. Ainsi le nombre de victimes détermine le nombre d'odontologistes nécessaires dans les cellules *ante* et *post mortem* dans le respect des recommandations d'Interpol et de l'*American Board of Forensic Odontology* (ABFO). Ce nombre peut être réévalué à tout moment en fonction de la complexité des opérations.[7]

7.2.1 L'odontologiste au sein de la cellule relevage PM (phase 1)

Des odontologistes de réserve du Service de santé des armées (SSA) intégrés à l'équipe post-mortem, sont mis en alerte avant de rejoindre les odontologistes du département médecine légale odontologie à l'IRCGN et d'être projetés sur le site de la catastrophe.

Sur le terrain, ils participent au relevage des corps des victimes ou des restes humains fragmentés présents sur le lieu de la catastrophe. Ils informent les autres spécialistes de l'équipe sur la nécessité de faire appel à eux lorsqu'une victime ou un élément dentaire est retrouvé afin de préserver au mieux ces éléments d'identification. Il peut s'agir de dents perdues lors des manipulations du crâne ou de la mandibule, de fragments osseux maxillaires ou mandibulaires, voire des fragments ou des éléments de prothèses dentaires [15].

Avant toute manipulation, ils photographient à titre conservatoire les corps des victimes et veillent à la préservation des corps. Il est du ressort de l'odontologiste d'envelopper la tête des victimes carbonisées d'un sac en papier kraft ou d'un sac plastique pour éviter toute perte de dents ou de prothèses. Ils participent avec les autres membres de l'équipe et de techniciens en identification criminelle à l'appariement des fragments de corps et à la vérification de l'étiquetage des corps et des sacs mortuaires pouvant contenir les os et les dents.

7.2.2 L'odontologiste au sein de la chaîne PM (phase 2)

Mener à bien une identification dépend d'un examen systématisé, quelle que soit la structure : Institut médico-légal ou dans chaîne *post mortem* de campagne. Les odontologistes travaillent donc en binôme pour éviter des erreurs et appliquer un protocole strict. Avant tout examen, Ils vérifient le numéro d'ordre du corps et le consignent sur un odontogramme *post-mortem*. Après nettoyage de la cavité buccale ou des restes dentaires, l'odontologiste dit « mains sales » réalise les examens dentaires sur le cadavre. Il note l'état général de la denture puis procède à l'examen des

dents quadrant par quadrant, en suivant la nomenclature dentaire définie par la Fédération Dentaire Internationale (FDI). Il recense les dents présentes et les dents absentes (*post* et *ante mortem*). Puis pour chaque dent observée, il relève dans la cavité buccale de la victime les indices bucco-dentaires anatomiques, physiologiques, pathologiques et thérapeutiques. Ces indices sont nombreux et d'une grande variété.

Le second, dit « mains propres », retranscrit sur l'odontogramme les constatations du premier puis les vérifie. Dans le cas d'altération importante de la tête de la victime une résection mandibulaire peut être autorisée par le magistrat pour faciliter l'examen dentaire, la prise des photographies et des radiographies (figure 10). Pour des questions d'éthique, les recommandations d'Interpol, les législations du Conseil de l'Europe et du Code pénal français concernant les prélèvements maxillaire et mandibulaire, limitent un maximum cette pratique. Il photographie systématiquement les arcades dentaires des maxillaires supérieur et inférieur sous les incidences occlusale, antérieure, latérales droite et gauche après ouverture maximale de la bouche ou résection mandibulaire. Puis il réalise un statut radiographique complet des arcades dentaires supérieure et inférieure même si certaines zones semblent édentées. L'ensemble des données est consigné dans un dossier informatisé pour comparaison ultérieure avec les données *ante mortem*. [16]

Figure 10 - Radiographie dentaire avec un système portable.



© IRCGN

7.2.3 Poursuite des travaux à l'IRCGN (département médecine légale-odontologie)

Lorsque la nature même de la mission ne permet pas aux intervenants d'identifier immédiatement les victimes du fait de leur état (poly-fragmentation, carbonisation extrême,...) les éléments de corps sont transportés au laboratoire, où le travail d'identification pourra être engagé dans des conditions optimales selon un protocole établi.

Les odontologistes médico-légaux vérifient que les dents isolées appartiennent bien à une même victime en les repositionnant si possible dans leurs alvéoles dentaires. Ils effectuent des radiographies de l'ensemble des dents encore présentes dans la cavité buccale ainsi que sur les dents isolées (étape pouvant également s'effectuer *in situ*). Chaque arcade dentaire ou chaque élément anatomique, voire chaque dent est photographié et radiographié (figure 10).

Si nécessaire, ces prélèvements sont préparés selon les protocoles prescrits par les spécialistes en ADN pour être conservés dans le but d'une future analyse génétique.

Quel que soit l'endroit où ont été réalisés les examens, à la fin de leurs observations les odontologistes établissent un odontogramme post-mortem (généralement celui présent dans le dossier Interpol) qui relate l'ensemble des constatations faites sur les maxillaires sous forme de trigramme en langue anglaise lors du traitement des catastrophes internationales.

7.2.4 L'odontologiste au sein de la cellule AM (phase 3)

Partie intégrante de la cellule AM, les odontologistes ont un espace attribué dans la salle AM de l'IRCGN ou au sein d'une antenne de cette cellule ouverte près du lieu de la catastrophe.

Travaillant en binôme, ils compilent l'ensemble des informations recueillies auprès des familles ou des chirurgiens-dentistes. Les supports médico-légaux utilisés retracent les différentes étapes du parcours de soins de la personne. Ces supports peuvent parfois être très anciens ou difficiles à collecter. En fonction de l'âge de la personne disparue, cette dernière a pu faire du « nomadisme médical » en un mot se faire traiter par différents chirurgiens-dentistes en France et/ou à l'étranger.

Les supports écrits détenus par la famille sont divers. Ils comprennent aussi bien des comptes rendus d'interventions que des feuilles de règlement de soins ou de prothèses effectués par une caisse d'assurance ou une complémentaire, ou encore des attestations.

Ceux détenus par le praticien (chirurgien-dentiste, stomatologiste, orthodontiste) sont contenus dans le dossier bucco-dentaire du patient. Parmi ces documents, la fiche de soins retrace, de manière manuscrite ou informatisée, la chronologie des soins prodigués par le praticien et comprend généralement un odontogramme. Dans le cas de ressortissants étrangers, l'étude des documents dentaires peut nécessiter leur traduction intégrale par un praticien de même nationalité. De plus les nomenclatures souvent différentes de celle de la FDI (fédération dentaire internationale) doivent être interprétées.

L'accord passé entre la Caisse Nationale d'Assurance Maladie (CNAM) et l'IRCGN permet aujourd'hui en cas

de recherches infructueuses de demander directement à cet organisme des renseignements concernant d'autres praticiens ayant traité la victime.

Les supports images sont principalement représentés par les radiographies dentaires porteuses d'informations objectives, non contestables. Elles signent l'identité d'un individu. Dans certains cas, la lecture d'un scanner dentaire peut amener également des informations non négligeables. Il est aussi possible que la famille transmette des photographies de la victime vue de face, souriant dents découvertes. Une possible identification peut découler de l'observation de ce document à partir de la découverte d'une anomalie dentaire spécifique visible lors d'un sourire.

Les supports en 3 dimensions sont les moulages dentaires, les appareils orthodontiques, les anciennes prothèses dentaires adjointes, les gouttières, les orthèses... Si les moulages dentaires peuvent être comparés directement aux arcades dentaires de la victime, les prothèses ou orthèses doivent être posées sur les arcades dentaires du cadavre pour confirmer ou infirmer l'identité.

Les odontologistes médico-légaux effectuent mutuellement un contrôle qualité lors de la lecture et de l'interprétation du dossier dentaire. Il en est de même au niveau de la retranscription codée sur l'odontogramme d'Interpol, de l'analyse et de l'interprétation des radiographies *ante mortem*.

7.2.5 Le travail de comparaison des données *ante* et *post mortem* (phase 4)

Le processus d'identification se fait par la confrontation de supports *ante-mortem* qui représentent les caractères spécifiques des disparus avec des indices post-mortem obtenus par l'examen des cadavres.

L'utilisation du logiciel DVI system de PlassData assure les rapprochements des données AM et PM lorsqu'il existe un nombre important de victimes. L'identification d'un individu d'un point de vue strictement dentaire se fait sur les pages « odontologie 600 » *ante mortem* et *post mortem* selon les recommandations d'Interpol, ce qui implique l'avis des experts.

Lors de la commission d'identification, ces derniers établissent leurs conclusions en appliquant strictement la terminologie existante :

- **Identification établie** : il est absolument certain que les données PM et AM correspondent à la même personne.
- **Identification probable** : certaines caractéristiques se retrouvent dans les données PM et AM, mais les données PM ou AM, ou les deux, sont qualitativement ou quantitativement limitées.
- **Identification possible** : rien ne permet d'exclure l'identité, mais les données PM ou AM, ou les deux sont qualitativement ou quantitativement limitées.
- **Identité exclue** : les données PM et AM correspondent à des personnes différentes. Aucune comparaison ne peut être faite.

Les récentes catastrophes aériennes de la Germanwings en France et d'Air Algérie au Mali ont montré que l'odontologie médico-légale permettait également la différenciation d'individus (cf. § 5).

Les examens génétiques n'ont pas permis à eux seuls de déterminer l'identité précise d'un individu mais seulement

une filiation. Ainsi, des sujets d'une même fratrie n'ont pu être différenciés par l'examen ADN. De son côté, l'examen dentaire seul n'a pas permis l'identification de ces mêmes victimes. Cependant, la prise en compte des résultats génétiques et de l'âge dentaire a permis une différenciation, et l'établissement des identités. [17]

L'association génétique et odontologique a aussi permis de différencier les fragments maxillaires de deux jumeaux, dont un seul portait une contention orthodontique [18]. Le nombre important de missions de catastrophes réalisées au sein de l'UGIVC a montré toute l'importance de l'identification dentaire. Véritable moyen d'identification mis à la disposition des magistrats et des officiers de police judiciaire, l'identification odontologique représente l'un des trois identifiants primaires avec les empreintes digitales et l'ADN.

8. Les empreintes digitales lors de l'identification des victimes de catastrophes

Parfois mise de côté en tant que facteur d'identification au profit d'autres moyens « plus rapides », l'identification par les empreintes digitales est redevenue l'un des moyens incontournables de ce domaine.

Les experts du département Empreintes digitales font partie intégrante de la chaîne d'identification et, à ce titre, sont amenés à se déplacer sur la plupart des lieux de catastrophe. Qu'il s'agisse d'une catastrophe naturelle ou d'origine humaine, les mains ou éléments de mains, les pieds ou éléments de pieds, retrouvés, s'avèrent déterminant dans le processus d'identification des victimes. Qu'elle soit digitale, palmaire ou plantaire, l'empreinte papillaire est, sans nul doute, le meilleur et le seul élément formel d'identification. Ceci vient du fait que lors de la genèse des crêtes papillaires, un processus chaotique mettant en jeu une combinaison de facteurs (arrangement cellulaire,

timing entre les différentes étapes rythmant l'élaboration du dessin papillaire, forme des os, position du fœtus, ...) rend difficilement envisageable l'idée que deux personnes puissent disposer de la même empreinte papillaire [19, 20]. De plus, alors que les tissus dits « mous », les organes et certains os sont morcelés voir pulvérisés, il a été systématiquement retrouvé, lors d'une attaque suicide ou suite à un accident d'avion, des éléments de mains et de pieds. L'explication la plus probable viendrait principalement de la forme des os, des muscles et des ligaments présents aux niveaux des mains et des pieds. Ces derniers comptent 106 os, soit plus de la moitié de notre squelette. De plus, les os des poignets et des cous-de-pied sont constitués par des os courts, plus résistants que les os longs ou plats. Et enfin, les os des poignets et des chevilles sont unis par de nombreux muscles et ligaments, assurant une résistance importante à l'étirement, aux déchirures en formant un bloc extrêmement puissant [21, 22, 23].

8.1 La restructuration des mains sur le terrain (phase 2)

En fonction de l'importance de la catastrophe, des délais mis en œuvre pour prélever les restes humains, des conditions climatiques, de la prédation animale et d'autres facteurs, les corps subissent des dommages plus ou moins importants, avec des conséquences sur la nature et la qualité des données post mortem et de fait sur les techniques d'identification utilisée.

À ce titre, en fonction des conditions climatiques et si des locaux adaptés sont disponibles, le choix de réaliser un prélèvement d'empreintes digitales sur les éléments humains sur place (dans l'environnement de la catastrophe) est préconisé. Ainsi, à l'issue de la phase de relevage (phase 1), les empreintes digitales seront réalisées au fur et à mesure que les éléments seront rapatriés sur la zone de traitement. C'est ce qui s'est déroulé pour la catastrophe du vol de la Germanwings (*figures 11 et 12*).

Figure 11 - Expert restructurant des empreintes sur une chaîne médico-légale (accident TGV Eckwersheim en 2015).



© IRCGN

Figure 12 - Expert restructurant des mains sur la chaîne *post mortem* de circonstance (accident Germanwings en 2015).



© IRCGN

Figure 13 - Experts restructurant des mains à l'IRCGN (accident AH 5017, Air Algérie en 2014).



© IRCGN

8.2 La restructuration des mains au laboratoire

Par contre, pour ce qui est de la catastrophe du vol Air Algérie, au vu des conditions climatiques, de l'insécurité environnementale, des animaux, de la vitesse de dégradation des éléments de corps, la décision s'est orientée vers un traitement en laboratoire des mains. De fait, l'équipe déplacée s'est concentrée sur le relevage des éléments de corps et la préservation de ces derniers afin qu'ils puissent être envoyés et traités dans un second temps au laboratoire de l'IRCGN (figure 13).

Quels que soient les conditions et les lieux de traitement des mains ou des pieds, l'équipe se déplace avec son matériel de façon à pouvoir travailler en autonomie complète. Quelque soit le lieu de traitement, que ce soit au laboratoire ou ailleurs, les techniques de restructuration de doigts sont connues et maîtrisées. Les relevés d'empreintes sont réalisés sur l'épiderme ou le derme. Cependant, les catastrophes étant toutes différentes et surtout les résultats devant être donnés, à juste titre, rapidement, les experts commencent à orienter leur technique de prélèvement vers des procédés plus automatisés avec un contrôle qualité efficient. L'orientation vers des capteurs biométriques a été prise, ce qui a pour avantage de donner un résultat immédiat qui peut être directement transmis à la cellule ante-mortem de façon à lui permettre de faire des « hits » pratiquement instantanément. Même si les capteurs actuels ne donnent pas encore de résultats probants sur des personnes décédées, les techniques évoluant rapidement, les futurs capteurs devraient donner des résultats prometteurs.

8.3 Les empreintes digitales au sein de la cellule Ante mortem (phase 3)

Au sein de cette équipe, les experts du département sont présents afin de réaliser un contrôle qualité des

empreintes digitales prélevées lors de la phase d'autopsie et les empreintes digitales fournies par les préfectures, l'ANTS (agence nationale des titres sécurisés) ou par les pays étrangers. Si aucun document administratif ne contient de donnée biométrique, il est demandé aux enquêteurs de se rendre au domicile de la victime et de prélever tout objet susceptible d'avoir été touché par cette dernière, tel que cahiers, livres de compte, verres, bouteilles, DVD. Une recherche de trace sera alors réalisée en laboratoire pour être comparée avec les empreintes *post mortem*.

Chez les bébés ou les jeunes enfants, la prise des empreintes plantaires doit être effectuée, ces derniers marchant souvent pieds nus. Les parents peuvent être amenés à réaliser des moulages

des mains et des pieds à leur naissance, qui pourront être utiles.

Autant il est possible de demander à l'équipe post-mortem de reprendre certains relevés afin de pouvoir obtenir de meilleurs résultats, autant il n'est pas possible de le faire avec les données *ante-mortem*, les empreintes ayant été réalisées avant le décès de la personne. De fait, certains relevés réalisés lors de la phase *post-mortem* ne pourront jamais être comparées si les empreintes fournis sont de mauvaises qualités.

8.4 Les empreintes digitales lors de la phase de comparaison (phase 4)

Une fois le contrôle qualité réalisé, les empreintes PM sont comparées avec les empreintes AM soit manuellement, soit à l'aide d'un système de comparaison automatique (système MorphoBis). Cela va essentiellement dépendre du nombre de victimes et de la qualité des empreintes à comparer. Afin de mener à bien leur mission, les experts ayant réalisé les comparaisons participeront ensuite à la commission d'identification afin de valider et conforter les résultats obtenus.

9. L'utilisation de l'ADN dans le cadre de l'identification de victimes de catastrophes

9.1. L'ADN offre un large spectre d'identification

Selon les recommandations internationales les analyses ADN viennent compléter les domaines d'investigations permettant d'identifier formellement un individu victime ou auteur de catastrophe [7, 24, 25]. Dans certains cas de destruction extrême du corps (fragmentation),

l'exploitation de l'ADN s'avère même être le seul moyen d'identification formelle d'un individu. En effet, bien que l'identification repose dans tous les cas sur une analyse comparative entre les données dites *ante mortem* relatives aux caractéristiques individuelles de la victime de son vivant (interventions chirurgicales, mise en place de prothèse, soins dentaires, relevés d'empreintes digitales sur les papiers d'identité) et les données dites *post mortem* relatives aux critères identifiants mis en évidence sur le corps ou l'élément de corps non identifié, l'absence d'élément direct de comparaison entre les données *ante* et *post mortem* rend non applicable l'identification par l'odontologie, le médical ou les empreintes digitales. En revanche, l'ADN offre un large spectre d'identification. Tout d'abord, concernant les données *post mortem*, l'ADN est présent dans toutes les cellules de notre corps. Une exploitation ADN peut donc être en théorie effectuée à partir de tout élément de corps et pas uniquement à partir d'élément dentaires ou d'une main. Ensuite, concernant les données *ante mortem*, la comparaison n'est pas limitée qu'à un rapprochement direct. En l'absence de données génétiques relatives à la victime elle-même et déterminées à partir d'un objet personnel lui ayant appartenu (rasoir, brosse à dents...) les données génétiques relatives aux parentèles biologiques de la victime (père, mère, enfants, fratrie) s'avèrent également très utiles.

9.2 Une logistique simplifiée pour l'analyse

Classiquement, un fragment musculaire ou osseux est transmis au laboratoire pour la détermination du profil ADN mais les échantillons disponibles pour analyses peuvent néanmoins se présenter sous différentes formes du fait des conditions de prélèvements (corps complet ou morceaux fortement dégradés d'origine non identifiables...). La réussite de l'identification par l'ADN est étroitement liée aux méthodes de récupération, de transport et de conservation des échantillons des victimes pour l'analyse au laboratoire. Or, la conservation de matières organiques à proximité du site de la catastrophe et leur transport sur des distances plus ou moins grandes nécessitent une logistique compatible avec le maintien de la chaîne du froid indispensable pour éviter la dégradation des échantillons relevés, conditions qui ne sont pas souvent retrouvées sur les sites de catastrophe [26].

Pour simplifier la logistique et permettre une analyse massive d'échantillons au laboratoire dans des délais réduits, l'IRCGN a développé une technique de standardisation de prélèvements biologiques à partir de tous types de matière biologique permettant non seulement de conserver et de préserver ces prélèvements à température ambiante sans limitation de durée mais également de permettre leur analyse automatisée au laboratoire. Cette innovation a été utilisée lors de la catastrophe aérienne

Figure 14 - Équipements du Lab'ADN.



Figure 15 - Dispositif du Lab'ADN.



© IRCGN

du vol de la GermanWings survenu en mars 2015 dans les Alpes françaises, permettant ainsi le traitement de plusieurs milliers de prélèvements dans des délais très courts compte tenu de l'ampleur de la catastrophe.

9.3 Une technique sensible

Les avancées technologiques actuelles permettent d'obtenir un profil ADN fiable à partir d'une vingtaine de cellules. Cette sensibilité offre donc la possibilité d'identifier des victimes ou des fragments de corps dans des états de dégradations très avancés et notamment à partir d'éléments dentaires unitaires non discriminant ou de mains non exploitables pour la détermination d'une empreinte digitale. Cette sensibilité a été mise en évidence dans le cadre de la catastrophe aérienne survenue en juillet 2014 dans le désert du Mali au cours de laquelle l'aéronef avait été entièrement désintégré.

9.4 L'innovation transporte l'analyse ADN au plus près de la catastrophe

Le laboratoire mobile d'analyses ADN (*figures 14 et 15*) est une innovation de l'Institut de Recherche Criminelle (IRCGN) de la Gendarmerie nationale française. Simple à mettre en œuvre, ce laboratoire permet un traitement rapide et à haut débit d'échantillons biologiques de natures diverses avec l'analyse simultanée de 24 régions d'ADN.

La rapidité de l'analyse et sa réalisation dans le laboratoire mobile sont liées à l'utilisation du dispositif de prélèvements biologiques GendSAG breveté par l'IRCGN.

Ce dispositif permet, immédiatement à l'issue de la collecte, l'analyse directe du matériel biologique.

La mise en œuvre opérationnelle du laboratoire mobile permet d'obtenir des résultats ADN 2 heures 30 après son arrivée sur les lieux de la catastrophe et de générer par la suite 21 résultats toutes les 30 minutes. Cette innovation majeure prend tout son intérêt dans des situations particulièrement sensibles où le temps nécessaire à l'obtention d'un profil ADN est un paramètre crucial pour l'autorité judiciaire dans le cadre de catastrophes et d'attentats pour en dénombrer et en identifier les victimes et les auteurs. À cet effet, il a été employé pour la première fois à Nice suite à l'attentat du 14 juillet 2016.

10. Conclusion

L'approche à adopter en matière d'identification de victimes de catastrophe est par définition globale et stratégique. Elle bénéficie en effet de l'expertise de différentes individualités au sein d'entités institutionnelles, mais aussi parfois non institutionnelles, voire privées. Dans un contexte à forte charge émotionnelle et largement médiatisé, il est essentiel d'œuvrer en synergie, qu'il s'agisse d'un contexte national ou international. Un seul objectif doit être à l'esprit de chacun de ces acteurs : permettre l'identification formelle et la plus rapide possible des victimes et écourter ainsi l'attente de leurs proches.

Liens d'intérêts: les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts avec le contenu de cet article.

Références

- [1] Welsch P, De Villers A, Thomas H. Religion et autopsie. In Odontologie médico-légale; 2013 (Laborier C, Danjard C), Ed CDP, 399 p.
- [2] Beauthier JP, De Valck E, De Winne J et al. Catastrophes de masse. In: Traité de médecine légale (2^e édition), Editions De Boeck; 2011, p 663-677.
- [3] http://circulaires.legifrance.gouv.fr/pdf/2016/04/cir_40765.pdf
- [4] Schuliar Y., Hebrard J, Jam D et Dourel L. Identification des victimes du Tsunami en Thaïlande. Médecine et armées 2005; 33 (4): 293-302.
- [5] Black S, Sunderland G, Hackaman et al. Disaster Victim Identification. Experience and Practice; 2011, CRC Press, 284 p.
- [6] Ponsel G, Fillon C, Schuliar Y. Recommandations pour la prise en charge et l'identification des victimes décédées suite à une catastrophe de type nucléaire radiologique-biologique-chimique (NRBC). La revue de médecine légale 2011; 2, 94-107.
- [7] www.interpol.int/fr/INTERPOL-expertise/Forensics/DVI
- [8] www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000025241330&categorieLien=id
- [9] Ludes B. La catastrophe aérienne de l'Airbus A 320; Interpol Revue Internationale de Police Criminelle, 1992 (juillet-août-septembre-octobre): 437-438, 38-42.
- [10] Gaudry E. Crash d'un avion militaire algérien survenu en Lozère. L'IRCGN au centre des investigations, Le Trèfle n° 132, 2013, 15-21.
- [11] Gaudry E. The insects colonization on buried remains. In: Amendt J, Lee Goff M, Campobasso CP, Grassberger M (Eds) Current Concepts in Forensic Entomology (1st Edn), 2010, Springer, Dordrecht, pp 273-312
- [12] Gaudry E. Les corps enterrés, Archéothéma (mars-avril 2013), 27: 27-33.
- [13] James H. Thai tsunami victim identification - Overview To Date. The Journal of Forensic Odonto-Stomatology 2005, Vol. 23 No.1.
- [14] Schuliar Y. The collection of ante mortem information after major disasters. International criminal police review, Interpol 1999, 474-475: 88-92.
- [15] Georget C, Fronty P, Sapanet M. L'identification comparative - Poitiers - Les cahiers d'odontologie médico-légale - 2001 - Tome 1 - 189 pages.
- [16] Georget C, Hebrard J, Schuliar Y, et al. Spécial Victimes du Tsunami - Revue de droit médical et d'identification appliqués à l'odontologie 2005 -188 pages
- [17] Georget C, Sapanet M, Fronty P et al. L'identification estimative: l'âge - Poitiers- Les cahiers d'odontologie médico-légale 2007 - Tome 3 - 192 pages.
- [18] Georget C, Conigliaro A, Schuliar Y. Identification dentaire. Procédures et techniques -Poitiers- Les cahiers d'odontologie médico-légale 2015 - Tome 5 - 270 pages.
- [19] Morphogenesis of Volar Skin in the Human fetus - Docteur Alfred Hale 1952
- [20] Dermal and Epidermal Structures Of the Volar Skin- Professeur Michio Okajima - 1976
- [21] <http://www.lecorpshumain.fr/corps humain/1-os.html>
- [22] <http://soutien67.free.fr/svt/homme/corps/corps%20humain.htm>
- [23] Présentation PPT Dr christian Couturier, Anatomie et physiologie des tendons fléchisseurs à la main
- [24] Zietkiewicz E, Witt M, Daga P et al. (2012). Current genetic methodologies in the identification of disaster victims and in forensic analysis. J Appl Genet 53(1): 41-60.
- [25] Decorte R (2010). "Genetic identification in the 21st century- Current status and future developments." Forensic Sci Int 201(1-3): 160-164.
- [26] Caputo M, Bosio L. A. and Corach D (2011). Long-term room temperature preservation of corpse soft tissue: an approach for tissue sample storage. Invest Genet 2: 17.

De la biologie naturelle à la biologie moléculaire

Description des potentialités du Département Faune Flore Forensiques au travers de ses Unités d'Expertises

Laurent Dourel^a, Sylvain Aimar^a, Jean-Bernard Myskowiak^a, Anne-Typhaine Baude^a, Thierry Pasquerault^a, Laëtitia Cervantes^a, F Rothlisberger^a

RÉSUMÉ

En criminalistique, la biologie est souvent synonyme d'ADN. Toutefois, des disciplines telles que l'entomologie, la palynologie ou la botanique en sont des domaines qui peuvent se révéler particulièrement pertinents en matière d'enquête.

Depuis 1992, le département Faune Flore Forensiques (3F) couvre la plus grande partie des champs analytiques liés à la présence d'animaux, d'insectes, de diatomées et de pollens.

La détermination d'une empreinte environnementale implique l'application d'une suite de techniques d'analyses d'éléments biologiques afin d'apporter de l'information en criminalistique. Ces bio-indicateurs doivent être compris comme des éléments parcellaires d'un milieu original qui se compose d'un ensemble hétérogène d'animaux ou de végétaux. Tous sont susceptibles d'être rencontrés sur une scène d'infraction, sur un cadavre, une victime, un lieu, ou un objet et sont potentiellement des indices. Ces disciplines sont d'autant plus pertinentes lorsqu'elles sont intégrées dans une approche multidisciplinaire.

Délai de submersion – diatomées – entomologie – gestion de liens – identification moléculaire – intervalle *post mortem* – palynologie.

1. Introduction

Le département Faune Flore Forensiques (3F) peut-être aujourd'hui compris comme une unité de sciences criminelles regroupant des disciplines du vivant appliquées à des fins forensiques.

Créée en 1992 (sous le nom de Département Entomologie) cette unité était une des rares pour ne pas dire la seule en France à traiter de la trace d'origine naturelle (élément du milieu environnemental d'origine, issu de la scène d'infraction ou de crime). Parallèlement aux disciplines d'emploi généralisé tel que l'ADN ou l'empreinte digitale, la trace d'origine naturelle trouve toute sa place dans un contexte criminalistique. Elle s'insère

^a Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale
Département Faune Flore Forensiques
5, boulevard de l'Hautail – TSA 16808
95037 Cergy Pontoise Cedex

Correspondance
etm.ircgn@gendarmerie.interieur.gouv.fr

article reçu le 30 août 2016, accepté le 30 septembre 2016.
© 2016 – Elsevier Masson SAS – Tous droits réservés.

SUMMARY

From the natural biology to the molecular biology

Among forensic sciences, biology is mainly associated with DNA analyses. However other matters like entomology, palynology or botany also belong to biology and may be of major forensic interest.

Established in 1992, the Forensic Fauna and Flora unit (3F) covers the most of areas of expertise related to the presence of animals, insects, diatoms and pollens. Determining an environmental profiling involves the application of series of biological elements analysis techniques to provide information in forensics. These biological indicators must be understood as fragmented elements from an original environment, characterized by a heterogeneous group of animals or plants. All are likely to be encountered on a scene of crime, a corpse, a victim, a place, or an object and are potential clues. These forensic fields are very relevant; especially when they are integrated in a multidisciplinary approach.

***Post mortem* submersion interval – diatoms – entomology – management of links – DNA identification – *post mortem* interval – palynology.**

parfaitement dans un processus de compréhension de la scène d'infraction, pouvant aller jusqu'à l'obtention d'un mode opératoire ou d'un élément d'enquête déterminant.

2. L'entomologie légale

2.1 L'entomologie en criminalistique

L'entomologie forensique ou légale, est une application directe de la biologie, de l'écologie, et de la physiologie des insectes dans un contexte criminalistique. Cette discipline s'intéresse à tous les liens qui peuvent exister entre l'information reliée à la présence d'un insecte et une enquête judiciaire.

Les applications sont multiples : détermination de l'origine géographique d'une marchandise, mise en évidence de mauvais traitement sur des animaux, d'un problème sanitaire, d'escroquerie et préservation des espèces protégées par des conventions nationales, communautaires ou internationales (convention de Washington).

Néanmoins, cette application est quasi exclusivement consacrée à l'étude des insectes nécrophages pour l'estimation de l'intervalle *post-mortem* sur des corps dégradés. En effet, là où la médecine légale n'a plus d'éléments physico-chimiques pour étayer les conclusions sur une datation, l'entomologie légale prend le relais. Ainsi, l'utilisation de cette discipline sera particulièrement pertinente pour des corps datant de 4 jours à 8 mois environ. Au-delà l'interprétation des données deviendra difficile dès l'apparition de la seconde période de froid (2nd hiver).

L'entomologie légale, au sens strict se développe dès la fin du XIX^e siècle où un rapprochement est fait entre la décomposition d'un corps et les insectes. Le principe, bien connu, repose sur une relation trophique entre le corps et les espèces, ces dernières se succédant par vagues et dans un ordre précis tout au long des différentes étapes de la décomposition [1]. Les études fournissant des informations sur la succession chronologique des insectes sur un corps en décomposition se développent alors [1-4]. Le principe de succession des insectes sur un corps en décomposition est établi. Ainsi, il est possible d'associer la présence de certains insectes à la période de la mort. C'est le début de l'entomologie légale.

L'entomologie, discipline ancienne, connue et reconnue dans le domaine scientifique, se base alors sur des sciences historiques dites « traditionnelles » telles que la taxonomie, la systématique, ou encore l'écologie des populations. Pour rappel, la systématique est l'un des prolongements de la taxonomie, qui s'attache à décrire et définir les taxons. La dynamique des populations permet de comprendre l'évolution de la biodiversité notamment, ainsi que les phénomènes d'adaptations.

Cette discipline n'est donc pas nouvelle, et bénéficie d'un certain capital sympathie véhiculé notamment par les séries policières (CSI) et les reportages d'investigations criminelles. Depuis MEGNIN la discipline a heureusement largement évolué et d'autres éléments d'analyses ont été pris en compte, notamment la biologie et l'écologie de l'espèce. Ainsi, le temps de développement des insectes, devient alors le pilier central de la discipline. Il représente la durée nécessaire pour un individu d'une espèce donnée, pour passer de l'état d'œuf à l'état d'imago (jeune adulte). Les Diptères, nécrophages à l'état larvaire, sont majoritairement utilisés dans cette discipline. Ils représentent les primo-intervenants et leurs temps de développement sont largement renseignés dans la littérature scientifique. L'IPM (intervalle *post-mortem*) peut être alors estimé par la détermination de la période de premières ovipositions (pontes) sur le corps de la victime.

2.2. Date d'oviposition ou date de décès ?

Il est nécessaire de faire une distinction entre la date de ponte des insectes sur un corps et la date de décès d'un individu. La première est issue d'un calcul mathématique à partir de données environnementales mais aussi météorologiques (température, hygrométrie, vent). Le second correspond à une estimation basée sur un ensemble d'éléments techniques et d'investigations. De manière générale cette période de pontes est concomitante au moment de la mort. Mais pour être plus précis, on ne parlera pas de date de la mort mais de période d'accessibilité du corps à l'entomofaune.

Aussi, dans la majorité des cas, l'entomologie légale sera en mesure de déterminer une date minimale de décès (intervalle *post-mortem* minimal) à laquelle peut être associée une antériorité. On parle alors d'un résultat « en demi-droite ». Cette distinction, entre période estimée de pontes et date de la mort, schématise à elle seule l'ensemble de la discipline. L'expertise en elle-même consiste à prendre en compte les facteurs environnementaux, climatiques et les données d'enquête permettant de mieux comprendre l'évolution du corps dans son environnement. Il faut donc raisonner à l'échelle d'un micro-habitat éphémère évoluant dans un micro-environnement et un microclimat, le corps étant devenu un écosystème à part entière, siège de compétition et de relations inter et intra-spécifiques souvent complexes. La simple application d'un schéma de succession en prenant en compte les temps de développement de chaque espèce en présence ne permettra en aucun cas de définir un IPM acceptable scientifiquement au judiciairement.

2.3 Une nécessité d'évoluer

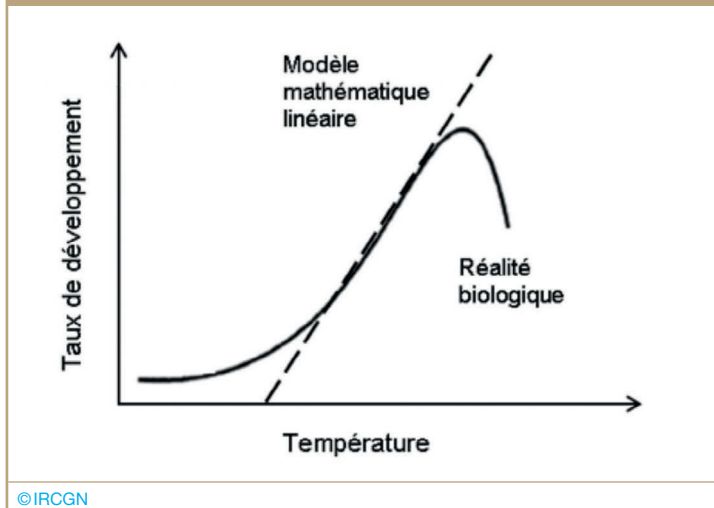
Ainsi, un grand nombre de notions est à intégrer dans cette discipline. C'est pourquoi, dès le lancement de cette activité, le département a vu la nécessité de développer des échanges et partenariat avec des spécialistes des différents domaines ou de grandes institutions dans le domaine telle que le Muséum National d'Histoire Naturelle ou l'INRA.

Le département est également à l'initiative de la création et du développement de l'*European Association for Forensic Entomology* (EAFE) et a intégré le groupe de travail *Animal Plant Soil and traces* de L'ENFSI (*European Network of forensic Institute*). Ce type de structure regroupe la grande majorité des acteurs du domaine, et constitue un groupe de travail efficace de recherche et développement sur les grandes questions qui n'intéressent que les entomologistes légaux. Des programmes d'échanges ont alors vu le jour, des essais inter-laboratoires permettant de toujours tester et parfaire les connaissances en la matière et l'élaboration d'un manuel de bonne pratique [5].

Aujourd'hui, au-delà de l'identification d'espèces d'insectes d'intérêt forensique, pour laquelle une formation continue doit être mise en place, un questionnement plus profond sur la biologie du développement de ces espèces est mené. Le cœur de la discipline repose sur les temps de développement des insectes. Ainsi, il est nécessaire d'une part d'effectuer une veille technique et de garder un lien étroit avec la communauté scientifique, et d'autre part de consolider ses propres données expérimentales de temps de développement, notamment au regard des protocoles mis en place au sein du laboratoire mais aussi de la spécificité géographique potentielle des souches d'espèces d'insecte.

La méthodologie de calcul des temps de développement notamment l'ADD (*Accumulated Degree Day*) est également discutée, afin d'améliorer l'estimation de l'IPM. La publication de ces données dans des revues internationales permet de partager ces connaissances nouvelles. La schématisation linéaire de la relation taux de développement/température, ne représente pas la réalité biologique. Cette droite est cependant à l'origine du calcul empirique de l'ADD. En effet la droite de régression permet de conclure sur un seuil thermique théorique minimum de développement graphique.

Figure 1 – Représentation graphique de la relation taux de développement / température : relation biologique et relation linéaire.



© IRCGN

Il correspond à l'intersection de la droite avec l'axe des abscisses. Il est donc artificiel et n'a pas de valeur biologique [6]. C'est ce seuil thermique théorique qui sera retenu dans le calcul du cumul thermique journalier (méthode de l'ADD). À partir de cette droite, il est également possible de définir la constante thermique nécessaire à la croissance totale de l'individu (inverse du coefficient directeur de la droite). Ces deux notions sont la base du calcul de l'ADD. Ainsi la connaissance de l'existence d'un décalage entre le développement biologique et la modélisation mathématique permet d'intégrer ce biais à l'estimation de l'IPM et donc d'apporter toute sa pertinence à l'analyse entomologique (figure 1).

Un questionnaire et des recherches sont également lancés sur les associations d'espèces qui pourraient apporter une plus grande précision aux résultats ou qui pourraient avoir un impact négatif sur l'estimation des dates de premières pontes et l'expression des résultats. De la même manière le principe de succession des espèces sur un corps en décomposition a fait l'objet d'un certain nombre de remaniements [7] [8] et les célèbres 8 escouades ne sont qu'un schéma standard pour illustrer le principe de succession et ne correspondent pas dans la grande majorité des cas à une réalité. Ainsi l'entomologie légale n'est pas une discipline figée, mais pleinement dans la dynamique de l'amélioration continue. Ce qui a notamment valu en 2007 au département d'être accrédité en entomologie légale selon la norme des laboratoires NF EN ISO/CEI 17025.

2.4 L'assurance qualité : source de progrès

Les impératifs liés au respect de la norme et dans un souci de garantir en permanence une analyse la plus pertinente, les experts en entomologie du département 3F ont mis en place un certain nombre de dispositifs. Le premier concerne la mise en place de kits de prélèvements en entomologie en collaboration avec une entreprise privée. Cela a eu pour conséquence d'améliorer la qualité du prélèvement reçu au département mais également d'augmenter le volume de saisines [9].

Mais, le travail le plus conséquent, ces dernières années a porté sur la traçabilité des températures. Ce paramètre est essentiel dans l'estimation de l'IPM et de ce fait est considéré comme critique en termes d'assurance qualité, du site de découverte d'un corps à la phase d'élevage en laboratoire. Aussi, le choix a été fait de privilégier les données fournies par météo France à celles obtenues par corrélation linéaire rétrospective [10] de températures, source d'erreur trop importante.

Durant la phase de conservation et d'acheminement des insectes au laboratoire, un enregistreur de températures a été distribué à chacune des unités et est systématiquement lié au prélèvement. Cet appareil a pour particularité d'avoir une programmation et une extraction de données uniquement réalisables par le département Faune Flore Forensiques. Ce dispositif permet ainsi de réduire les hypothèses de travail en termes de calcul de date de pontes et donc d'apporter plus de précision dans la réponse aux enquêteurs.

Enfin, la qualité de l'analyse entomologique passe également par un retour enquêteur. Ainsi, 5 ans après une saisine, le département 3F génère automatiquement un questionnaire et l'envoi au requérant. L'objectif ici est d'évaluer la justesse de notre estimation de l'IPM en fonction des résultats factuels d'enquête et le cas échéant, modifier nos protocoles.

3. La palynologie légale

3.1 Une transposition en criminalistique

Fort de l'application de l'entomologie aux sciences criminelles, le département a calqué ce modèle pour la palynologie.

La palynologie légale est définie comme étant la science qui utilise les pollens et les spores en criminalistique [11]. Ces derniers peuvent être extraits du sol, de vêtements, d'objets divers ou de stupéfiants. En contraste avec le travail de l'entomologiste, l'expert en palynologie légale doit principalement répondre à la question « Où ? » plutôt que « Quand ? ». Où était le suspect lors des faits ? D'où vient la cargaison de drogue... Cependant, l'entomologie et la palynologie ont en commun de répondre à la question « Qui ? ». En effet, lorsqu'en palynologie l'expert établit un profil pollinique caractéristique d'un lieu, il est capable de réaliser un rapprochement avec les vêtements d'un suspect ou alors de l'exclure.

L'étude des grains des pollens en matière d'investigation scientifique n'est pas nouvelle [12]. La paléo-palynologie utilise les pollens fossiles en tant qu'indice pour la reconstruction des paléo-climats et paléo-environnement ; la mélioso-palynologie pour l'étude des pollens du miel et la mise en évidence de fraudes ; l'aéro-palynologie pour lutter contre les allergies ou en agronomie. L'ensemble des techniques de préparation et d'identification des pollens et spores reste globalement le même que pour toutes ces disciplines. Les méthodes d'échantillonnage et d'interprétation de données sont adaptées à la matière légale. Ainsi, c'est en 1959 que la palynologie fait son entrée dans le monde judiciaire au travers de deux cas en Europe pour lesquels l'analyse pollinique a permis de lier un suspect et une victime à une scène de crime.

Le principe de cette discipline repose sur deux principales caractéristiques des pollens : une extrême résistance physique, chimique et biologique dans le temps et des particularités morphologiques propres à chaque espèce. Ainsi, il est considéré qu'à chaque espèce végétale correspond un grain de pollen ou une spore. Ces gamétophytes mâles, souvent émis en abondance, se caractérisent par plusieurs éléments morphologiques dont la combinaison permet de les identifier. La taille des grains de pollen varie d'environ 5 µm à 200 µm. Généralement, les plus petits, souvent issus de plantes anémophiles, sont des indicateurs de proximité. Cependant, la taille ne peut être considérée comme discriminant en palynologie. Les techniques chimiques d'extraction et de préparations [13,14] de ces grains pour leur identification (acétolyse) peuvent générer des variations importantes de taille. D'autres critères plus pertinents sont utilisés dont la forme (sphérique, ovoïde, triangulaire...), le type de sculpture de leur surface externe (exine), le nombre, la disposition et le type d'ouvertures (inaperturé, poré, colpé, colpore...) [15]. Ces critères sont observables par microscopie optique (de x 400 à x 1000). Leur combinaison permet alors d'identifier un type pollinique (**figure 2**). Ce type pollinique ne correspond pas forcément à une espèce ou un quelconque niveau taxonomique traditionnel. Il s'agit d'une catégorie morphologique pouvant être distinguée soit par un caractère précis, soit par une combinaison de caractères. Ces dernières permettent donc d'identifier différents grains de pollen qui seront discriminés par types polliniques. Ainsi, à plusieurs espèces de plantes correspondent plusieurs types polliniques. L'ensemble de ces types polliniques forme alors une empreinte pollinique qui constitue une image de la formation végétale correspondante ou qui est caractéristique d'un milieu.

Cependant, la caractérisation d'un type pollinique se limite à l'espèce et non à l'individu : s'il est aisé de différencier sur le plan pollinique un chêne vert d'un peuplier, il n'est pas possible de différencier deux chênes verts entre eux. La force de cette discipline réside donc dans la richesse de son empreinte pollinique.

Une autre particularité des pollens et d'importance en criminalistique, est leur extrême résistance aux agressions chimiques. Cette caractéristique est essentiellement due à la composition de sa surface extérieure, l'exine, qui contient de la sporopollénine. Cette dernière est l'un des matériaux les plus résistants du monde organique et est constituée de polymères au ratio carbone-hydrogène-oxygène de 4 :6 :1 limitant toute attaque enzymatique et chimique.

3.2. Application à la gestion des liens

La palynologie légale est essentiellement pertinente dans la gestion des liens. Elle permet d'établir un lien ou une absence de lien entre l'empreinte pollinique du lieu des faits et celle extraite des vêtements d'un suspect ou d'une victime par exemple.

La méthode d'analyse privilégiée réside dans la comparaison des différents grains de pollen extraits d'échantillons de question (vêtements, objets non lisses...) et de comparaison (fleur ou fragment de plante...). Les types

Figure 2 – Grains de pollens de la famille des Pinacées extraits d'une ogive.



©IRCGN

polliniques différents, et non les communs, apportent toute la pertinence à la réponse fournie. Ainsi, l'analyse pollinique va permettre d'établir un lien entre un milieu floristique spécifique (ex. culture, massif floral, formation végétale dominante, bouquets) et une personne et par extension, de lier plusieurs personnes ou objets entre eux. En matière de stupéfiant (cannabis), elle permet d'évaluer l'appartenance de plusieurs échantillons de résine ou de pains d'herbe à un même lot grâce à la comparaison des empreintes polliniques à l'exclusion des grains de pollen de type *Cannabis* ; de déterminer le type de culture (*indoor* ou en extérieur), de lier une personne à de la manipulation de plants de *Cannabis* sp., et de mettre en évidence un lieu de culture après récolte (en intérieur).

La palynologie légale joue également ce rôle de ciment entre la notion de temps et d'espace. L'exemple type est celui du premier ministre italien Aldo Moro dont le corps a été découvert dans le coffre d'une voiture 55 jours après son enlèvement par les Brigades Rouges [16]. Une analyse croisée des pollens et éléments de sol prélevés sur le garde-boue a permis d'indiquer que le véhicule avait fréquenté deux sites caractéristiques. La palynologie et l'étude des macro-restes de végétaux ont également permis de séquencer la période de disparition.

Quant à l'expression des résultats, une fois l'indice pollen collecté, préparé par traitement chimiquement, puis analysé, il doit être présenté à l'enquêteur au jury sous une forme compréhensible et qui permet d'évaluer sa pertinence. L'outil statistique (descriptif ou de type Bayésien) peut répondre à cette problématique tout en sachant que donner un caractère de parfaite correspondance entre un échantillon de question et de comparaison est très rarement atteint voire illusoire avec l'analyse pollinique.

Aussi, c'est la qualité de la correspondance qui va être mise en avant au travers d'une échelle qui peut comprendre les niveaux suivants :

- l'exclusion ;
- soutien faiblement ;
- l'impossibilité de se prononcer ;
- soutien fortement.

Cependant, l'une des difficultés dans l'expression du résultat vient du fait qu'il ne faut pas occulter une réalité environnementale qui va permettre d'expliquer, par exemple, la présence en très grande quantité d'un type pollinique dans un seul des échantillons.

Les grains de pollen, marqueurs de milieu, extrêmement résistants dans le temps et dont la signature ne varie pas suite à des attaques biologique ou chimique, constituent un allié de choix pour les enquêteurs, notamment lorsqu'il s'agit de réduire une liste de suspects ou de réfuter un alibi [17]. La palynologie légale est une illustration du principe d'échange de Locard où tout objet ou personne est susceptible d'apporter ou d'emporter des éléments du milieu qu'il fréquente. Cependant, cette discipline qui a démontré toute sa pertinence souffre encore d'une méconnaissance et d'une sous-utilisation dans de nombreux pays, notamment en raison du manque de spécialiste. Cette situation tend à s'améliorer en Europe grâce au groupe de travail Animal Plant Soil Trace (APST) de l'ENFSI (*European Network Forensic Science Institute*) au sein duquel les échanges sont concrets et ont pour objectif de rompre cet isolement.

4. Le milieu aquatique

4.1. Les diatomées où le diagnostic de la noyade vitale

Les diatomées ont été découvertes en 1702 par un des pionniers de la microscopie Anton van Leeuwenhoek. C'est seulement au XIX^e siècle que les biologistes ont observé que ces organismes étaient photosynthétiques. L'étude des biotopes et des écosystèmes a permis de mettre en évidence la présence de ces micro-algues comme bio indicatrices de milieux et notamment de la qualité des eaux. Micro-algues unicellulaires décrites pour la première fois au XVIII^e siècle [18], les diatomées sont composées d'une cellule renfermée dans un frustule, c'est-à-dire une enveloppe siliceuse composée de deux valves, à symétrie radiale pour les *Centrophycidae* sp. et à symétrie axiale pour les *Pennatophycidae* sp. (figure 3).

Organismes photosynthétiques, les diatomées planctoniques vivent en suspension dans le milieu aquatique tandis que d'autres, dites benthiques, vivent sur des supports ou sur le fond. Les paramètres physico-chimiques du milieu aquatique (température de l'eau, salinité, concentration en oxygène et en matière organiques) peuvent influencer sur la présence de certaines espèces de diatomées [19].

Mises en évidence dans les poumons d'une personne décédée de noyade dès 1896, la recherche de diatomées a permis de résoudre un cas particulier de noyade dès 1904. Au cours des décennies suivantes, les diatomées ont successivement été mises en évidence dans le sang et dans le parenchyme des organes puis dans la moelle osseuse en 1949 [20].

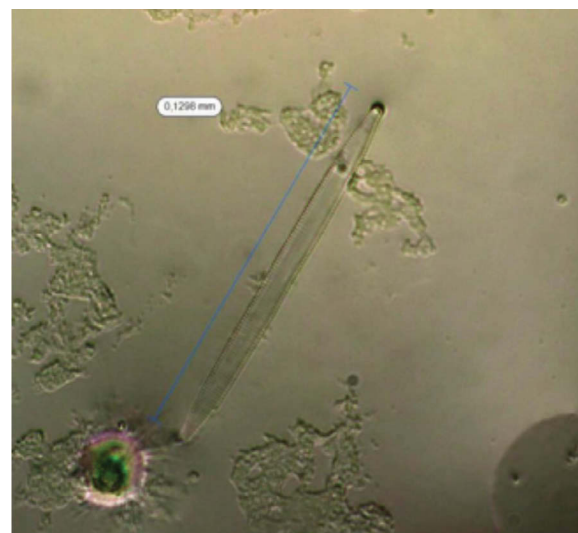
Malgré les nuances soulignées sur la mise en évidence de diatomées dans des organismes de victimes non décédées de noyade (fréquentations des carrières de diatomites ou régime alimentaire à base de fruits de mer), la recherche de diatomées demeure, de nos jours, un critère pertinent du diagnostic de la noyade vitale.

Ainsi, la recherche de diatomées, s'élabore sur la présence de ces micro-algues dans différents organes de la victime. En effet, dans la majorité des cas de noyade vitale, l'eau du milieu inonde l'arbre respiratoire. Lors de la rupture alvéolaire, les diatomées passent dans la circulation sanguine et les derniers battements de cœur diffusent les diatomées dans les organes et dans la moelle osseuse. En criminalistique, la présence de ces micro-algues dans l'organisme d'une victime peut suffire pour conclure à une noyade vitale en eau douce. *A contrario*, l'absence de circulation sanguine empêchera la diffusion des diatomées jusqu'aux organes de la victime.

L'explication d'une action permet de mieux comprendre l'environnement et les circonstances des faits incriminés. Pour l'enquête judiciaire en cours, il sera différent de retrouver dans un cours d'eau la victime d'une noyade vitale (accidentelle, volontaire) ou celle d'une autre action létale, avec l'intervention potentielle d'une tierce personne. Parallèlement, les diatomées apportent une information sur la cohérence avec le milieu de découverte de la victime. En effet, la présence de micro-algues dans les organes de la victime exclut, sauf exception, les milieux particuliers tels que les piscines ou l'eau courante du réseau urbain, par exemple. De ce fait, cet élément peut donner une nouvelle l'orientation à l'enquête.

Les méthodes d'extraction des diatomées des différents tissus organiques sont maîtrisées depuis quelques dizaines d'années. Elles sont essentiellement basées soit sur une digestion acide à l'aide d'acide nitrique ou chlorhydrique, soit sur une digestion enzymatique, avec utilisation de protéinase K [21].

Figure 3 – Diatomées (*Pennatophycidae*) extraites d'un rein.



©IRCGN

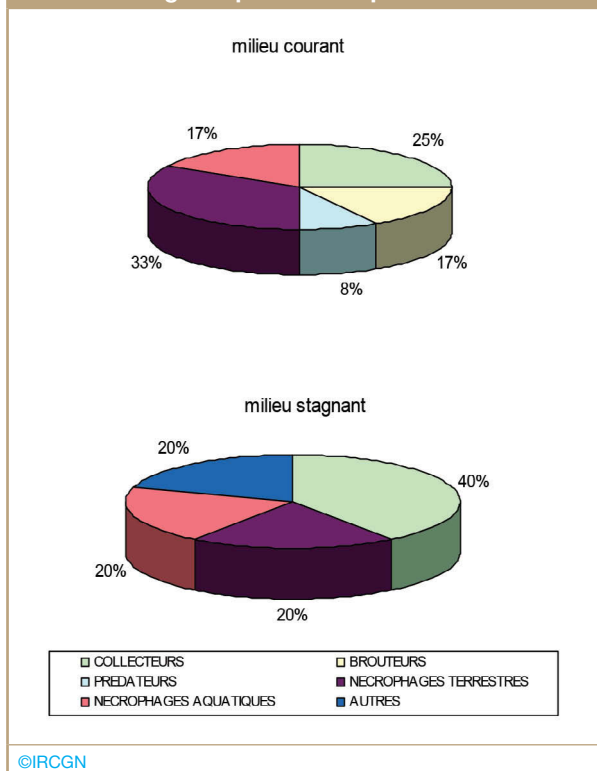
De nouvelles méthodologies de mises en évidence et de quantification des diatomées sont également proposées telles que la Résonnance Magnétique Nucléaire (RMN) couplée à une chromatographie en phase liquide, la fluorométrie ainsi que le projet ADIAC basé sur le développement d'un algorithme permettant d'automatiser d'identification et de classification des diatomées [20]. Si la problématique des cas de noyades en eau douce est globalement maîtrisée, celles du milieu marin comportent encore beaucoup de particularités et d'inconnues. Actuellement, seule l'analyse du taux de strontium (élément chimique naturellement présent dans l'eau de mer à des concentrations plus élevées que dans le corps humain) permet d'apporter des éléments de réponse sur le diagnostic de la noyade en eau de mer. Les diatomées marines ne sont pas, à l'heure actuelle, informatives au même titre que leurs homologues d'eau douce.

4.2. Le délai de submersion

Les enquêtes concernant des décès en milieu aquatique sont délicates, surtout lorsque le cadavre a été submergé pendant une longue période (altérations du corps, difficultés pour établir les causes du décès et les circonstances médico-légales de la mort). Pourtant la découverte de cadavres dans l'eau est à l'origine d'un nombre conséquent de saisines judiciaires. À titre d'exemple, plus de 150 corps sont découverts chaque année par la gendarmerie dans différents milieux aquatiques naturels français. Lorsqu'un corps est retrouvé dans l'eau, la présence du milieu aquatique interdit toute intervention immédiate des insectes nécrophages aériens jusqu'à la phase de gonflement du corps, qui permet la remontée de celui-ci à la surface de l'eau.

Bien que le milieu aquatique ne concerne que 10 % des insectes, des études expérimentales [22] ont déjà démontré l'existence d'une succession d'espèces sur un corps pendant sa phase d'immersion. Pourtant, l'entomologie forensique aquatique reste un secteur encore trop peu exploité et n'a pas suscité beaucoup de publications. Les recherches conduites apportent maintenant des réponses pertinentes au problème de la datation d'un corps ayant subi une phase de submersion. La colonisation aquatique *post mortem* est devenue une réalité impliquant des espèces d'invertébrés qui s'affranchissent de l'univers strictement entomologique. Les expérimentations menées par le Département Faune Flore Forensiques ont apporté des réponses quant à la conception d'un nouveau modèle de succession d'invertébrés aquatiques, caractérisés par des régimes alimentaires variés et permettant l'approche du concept forensique d'une espèce bio informative (figure 4). Les Gastéropodes sont les premiers colonisateurs après au moins une semaine de submersion nécessaire au recouvrement du corps par les algues et les vases constituant le régime alimentaire de ces invertébrés. Ce résultat a été confirmé sur des modèles animaux submergés dans des milieux courant et stagnant [23]. Les premiers Gastéropodes peuvent être échantillonnés dès 5 jours de submersion. Les Diptères peuvent être les seconds intervenants de la faune de ces cadavres. Ils sont principalement collectés dans les vases recouvrant les vêtements. Ces derniers sont récoltés sur des corps ayant séjourné dans l'eau depuis au moins

Figure 4 – Répartition par catégorie de régime alimentaire de la faune intervenant sur un corps immergé en phase de squelettisation.



3 semaines. Quand le délai est plus court, seule l'amorce du processus de colonisation peut être enregistrée avec des espèces indépendantes.

La présence d'espèces bio-indicatrices dont la biologie et le développement sont connus, sont particulièrement recherchées. Une estimation précise de la période minimale de submersion nécessite la prise en compte des formes immatures de Chironomidae du deuxième au quatrième stade de développement et de paramètres biotiques et abiotiques (eg. température, pH).

L'estimation du moment de la fixation sur le corps des formes animales aquatiques ou des premières ovipositions des insectes aériens sur le cadavre flottant s'exprime sous la forme d'un intervalle de temps, exprimé généralement en jours, correspondant à un séjour minimal dans un milieu aquatique d'eau douce. Il ne s'agit pas d'un calcul du délai *post mortem* mais d'une estimation de la période minimale de séjour d'un corps dans un milieu aquatique d'eau douce exclusivement [23]. Le résultat est communiqué sous la forme d'une période estimée par la méthode du cumul thermique, à partir de laquelle le corps peut être considéré comme assurément submergé.

Une publication récente [24] a permis de mettre en évidence que des micro-bactéries avaient une affinité sélective pour le corps (substrat) en fonction de l'état de décomposition atteint. En l'absence d'invertébrés sur le corps et lorsque le cadavre a subi une courte période de submersion, cette technique d'étude apparaît des plus pertinentes car elle se fonde réellement sur un principe de «*succession chronologique par affinité avec l'état de décomposition du corps*».

Ainsi, l'information brute ne permettra pas de donner une date de décès mais une indication de temps de présence minimale du cadavre dans l'eau qui pourra éventuellement être complétée par une analyse entomologique pour la phase d'émersion du corps. Et par extension, ce processus peut être applicable (hors phase aérienne) aux objets dans certaines conditions.

5. L'identification moléculaire des espèces animales

Depuis le milieu des années 1990, les analyses ADN dans le champ des sciences forensiques ont augmenté de manière draconienne. La standardisation et l'accréditation des protocoles de prélèvements et d'analyses en laboratoire de l'ADN humain ont élevé cette science au point où l'on parle aujourd'hui d'ADN comme reine des preuves.

L'ADN «non humain», quant à lui, a fait un saut en avant ces dernières années tant au pénal qu'au civil. Les dix dernières années, de nombreuses publications scientifiques ont vu le jour sur le sujet [25] [26] [27] [28] [29] et les applications forensiques, impliquant des animaux et des végétaux, sont relativement récentes en criminalistique [30].

Au sein du département 3F la réflexion sur le développement d'une telle discipline réside dans la volonté d'identifier certains spécimens d'insectes en entomologie légale sur lesquels aucun spécialiste n'est capable de mettre un nom sur le simple aspect morphologique (complexité, rareté, dégradation).

Très rapidement les champs d'applications se sont développés, et l'intérêt et le potentiel de cette discipline ne cesse de grandir.

Ainsi, les connaissances en génétique animale et végétale se développent par différents biais. Depuis quelques décennies de nombreux laboratoires analysent le génome des chevaux ou encore le bétail principalement pour le pedigree. Ce même phénomène est perçu au niveau des animaux domestiques d'intérêt financier (race, appartenance, lignée, sélection...).

Les études des variations de populations pour les plantes ou de croisement en agronomie ont permis également d'être un moteur concernant les connaissances sur l'ADN végétal. La police de l'environnement, prenant une part de plus en plus importante dans l'aspect pénal, la preuve matérielle a nécessairement été un élément moteur du développement de l'outil moléculaire en sciences forensiques. Ainsi, de nombreux organismes (administration, offices) et agences nationaux ou régionaux, sont en charge de la réglementation et du contrôle des activités humaines susceptibles de porter atteinte à la ressource à l'environnement et à la biodiversité. Le champ des possibilités est alors très varié et s'inscrit dans un contexte d'enquête très vaste tel que le trafic d'espèces, les problèmes de braconnage, les aspects sanitaires, les fraudes, le vol, les sévices... Par ailleurs, les analyses sanitaires liées à la fraude alimentaire ou les labels ont participé également au développement de cette discipline. [31]

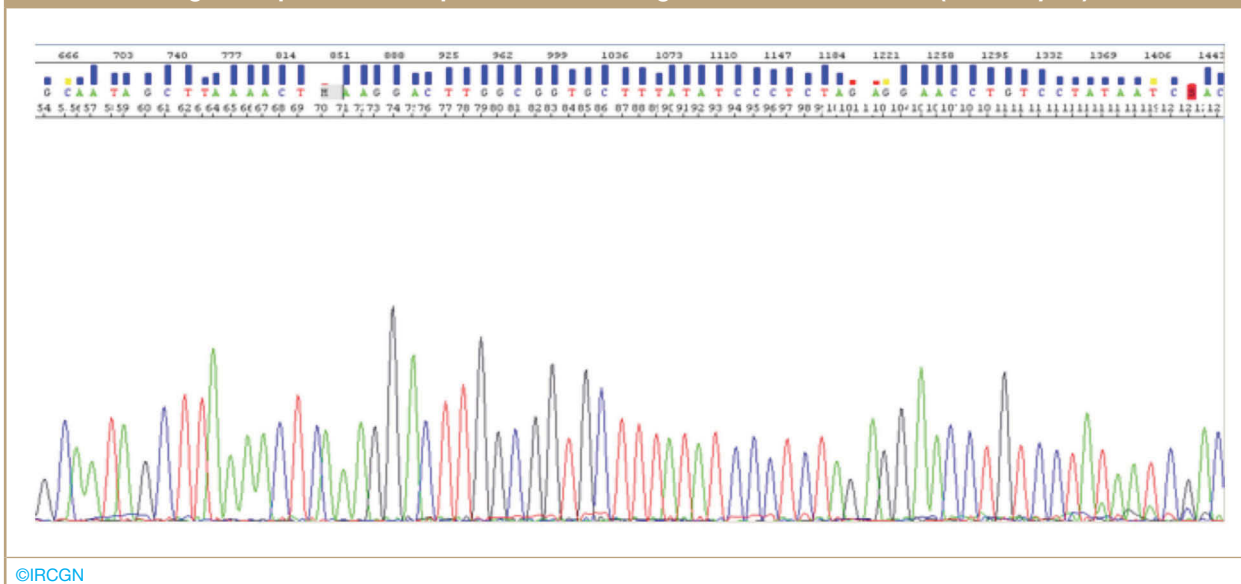
Le projet *International Barcode of Life* (iBOL) reste cependant la principale source de génome sur laquelle l'identification moléculaire puisse s'appuyer. Il s'agit de la plus importante initiative d'étude portant sur le génome de la biodiversité jamais entreprise. Les travaux au cours des cinq dernières années ont produit des enregistrements de «codes-barres ADN» pour plus de 50 000 espèces.

Ces codes-barres sont intégrés au vaste programme BOLD (*Barcode of Life Data System*) et à terme, une bibliothèque de référence de l'ensemble des Eucaryotes terrestres est envisagée.

Ainsi, d'une part il existe des supports référençant le génome d'une grande quantité d'espèce, (y compris les espèces protégées par des conventions internationales) d'autre part il existe un besoin en criminalistique pour définir l'espèce d'origine à partir d'éléments mous (peau, muscles, organes), de phanères (poils, plumes), de sang...

C'est donc tout naturellement que le lien entre l'obtention d'une séquence (figure 5) d'un prélèvement et sa comparaison sur une banque de données internationale a vu le jour.

Figure 5: portion de séquence extraite de gène mitochondrial 12S (*Canis lupus*)



©IRCGN

Le prélèvement et l'analyse des traces d'origines animales sont similaires à ceux des traces d'origine humaine. Cependant, l'analyse porte ici sur l'ADN mitochondrial et non pas nucléaire. Les séquences alors obtenues sont comparées avec les bases de données internationales (BOLD, GenBank®) alimentées par les laboratoires de biologie à travers le monde.

En criminalistique, la trace d'origine animale peut-être divisée en trois catégories :

- l'animal est un témoin passif d'une scène d'infraction, de telle sorte qu'il puisse permettre d'établir un lien (poil chien, chat...) entre un suspect ou un auteur présumé et une victime ;
- l'animal est une victime : braconnage, violation des lois de protection sur les espèces en dangers, sévices, actes de cruauté...
- l'animal est un suspect, par exemple une agression ou une attaque d'un chien [32]

Dans le premier cas, l'animal permet de matérialiser un lien, un échange, un contact entre une victime et l'auteur des faits, soit par un transfert direct soit par un transfert secondaire. Cela renvoie au principe d'échange de Locard. L'animal « témoin passif » représente l'intérêt le plus grand si l'on raisonne en termes de criminalistique. Dans ce contexte l'identification moléculaire des espèces animales apporte un élément matériel qui peut-être décisif dans le procès pénal. Dans le deuxième cas, nous sommes pleinement dans le concept de police de l'environnement au sens large, avec tous les sous-domaines que cela comporte.

Enfin, l'animal « suspect » concerne des cas pour lesquels la majorité se résout lors d'une procédure civile, mais cela peut également relever du pénal dans le cas d'un décès des suites d'une attaque de chien par exemple.

Ainsi, la biologie moléculaire en criminalistique est une discipline qui peut être un élément contributif de la bonne interprétation de la scène d'infraction. Cette analyse constitue un faisceau d'éléments de compréhension sur les affaires les plus complexes, par la gestion de liens. Elle permet ainsi de réfuter, de conforter, ou supporter un alibi ou une succession de faits. Dans la majorité des cas elle constitue une orientation d'enquête, une levée de doute, ou permet la qualification d'une infraction et la recherche de responsabilités.

Le développement d'une nouvelle activité, telle que l'identification des espèces animales, apporte aujourd'hui une dimension nouvelle qui s'intègre pleinement au sein des disciplines historiques dites traditionnelles avec des domaines résolument modernes tels que la biologie fondamentale, la biologie moléculaire et cellulaire ou encore la bioinformatique le génie-génétique et les biotechnologies par exemple.

6. Conclusion : l'empreinte environnementale

L'évolution des sciences forensiques, nous emmène aujourd'hui à la réflexion sur l'existence d'une empreinte environnementale.

La détermination d'une empreinte environnementale implique l'application d'une suite de techniques d'analyses

d'éléments biologiques afin d'apporter de l'information en criminalistique. Ces bio-indicateurs doivent être compris comme des éléments parcellaires d'un milieu original qui se compose d'un ensemble hétérogène d'animaux ou de végétaux. La plupart des techniques employées ne sont pas nouvelles et sont appliquées depuis longtemps avec succès dans de nombreux pays pour la compréhension, voire la résolution d'un large spectre d'infractions, contra-ventionnel, délictuel ou criminel.

La démarche criminalistique va plus loin encore. La tendance actuelle est de considérer ces techniques dans leur ensemble et non plus individuellement. En d'autres termes, cela revient à raisonner à un niveau plus global, lequel fait référence à des éléments microscopiques et macroscopiques de plantes, d'animaux et de microorganismes. Tous sont susceptibles d'être rencontrés sur une scène d'infraction, sur un cadavre, une victime, un lieu, ou un objet et sont potentiellement des indices.

Car, la force de l'indice naturel vient du fait qu'il évolue dans le milieu avec des besoins, des tolérances spécifiques et avec une distribution non aléatoire, voire logique. C'est pourquoi, lors d'une investigation, l'ensemble des éléments sont à prendre en compte car leur pouvoir discriminant associé aux informations circonstancielles de l'affaire peut contribuer avec intérêt à une réponse criminalistique. Ainsi, plusieurs classes d'indices naturels peuvent être distinguées au regard de la réponse apportée lors d'investigations :

- information de temps (IPM et PMSI) ;
- information de lieu (palynologie) ;
- information spatio-temporelle pour situer une action dans le temps et dans l'espace (diagnostic de la noyade, entomologie légale, palynologie).

Le département Faune Flore Forensique de l'IRCGN regroupe un large panel de discipline susceptible de remplir au moins une, voire la totalité des classes précédentes. L'estimation de l'IPM par l'entomologie légale et l'estimation du délai minimal de submersion en milieu aquatique, apportent un élément de réponse à la question quand ? L'information de temps est plus qu'utile dans une enquête de découverte de cadavre d'une personne X inconnue. Cela marque un début de piste pour les enquêteurs qui pourront alors avoir une période minimale pendant laquelle le décès s'est produit.

Contrairement à l'entomologie ou à l'étude des invertébrés aquatiques, la palynologie légale doit permettre de répondre à la question où ? et non quand ? Mais, il y a cependant une question commune à l'entomologie et à la palynologie : qui ?

Enfin l'ensemble des disciplines sont capables d'apporter un élément de réponse à la question comment ? Au travers de l'explication d'une action dans le temps et l'espace. Le diagnostic de la noyade notamment entre pleinement dans ce contexte.

Ces disciplines sont d'autant plus pertinentes lorsqu'elles sont intégrées dans une approche multidisciplinaire. Ainsi, chaque discipline prend toute sa place dans le concept d'empreinte environnementale.

Le traitement de l'indice naturel est en pleine expansion depuis quelques années. Nombreux sont les laboratoires

de criminalistiques qui les intègrent au sein d'une même structure afin de les traiter dans leur globalité et non individuellement.

Cette tendance se confirme par la création au niveau européen en 2012 du *working group Animal Plant Soil and Traces* de l'ENFSI qui a pour vocation de développer ces disciplines par l'échange de données et l'organisation des premiers essais inter laboratoires.

Car l'indice d'origine naturelle a toute sa place dans la chaîne criminalistique où il peut constituer un élément de preuve corroborative, c'est-à-dire intégrer le faisceau d'indices qui va permettre de comprendre une situation,

une scène, de déterminer des modes opératoires et par voie de fait permettre la recherche d'un auteur.

D'autres champs tout aussi pertinents restent à associer et à développer, que ce soit dans le domaine végétal (botanique, anthracologie), animal ou inorganique (analyse des sols). Et, au-delà de ce qui est déjà réalisé avec l'outil moléculaire, l'analyse de la signature ADN des bactéries du sol semble être prometteuse afin de lier ou non un sol avec un suspect ou une victime.

Liens d'intérêts : les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts avec le contenu de cet article.

Références

- [1] Megnin JP, La faune des cadavres – Application de l'entomologie à la médecine légale. Encyclopédie Scientifique des aides-mémoires, Paris, éd. Masson et Gauthier-Villars, 1894.
- [2] Yovanovitch GP, Entomologie appliquée à la médecine légale (Entomology applied to legal medicine), Paris, éd. Ollier-Henry, 1888.
- [3] Johnston W, Villeneuve G, On the medico-legal application of entomology. The Montreal Medical journal 1897;26(2):81-90.
- [4] Motter MG, A contribution to the study of the Fauna of the grave. A study of one hundred and fifty disinterments with some additional experimental observations. Journal of the New York Entomological Society 1898;6(4):201-233.
- [5] Amendt J, Campobasso CP, Gaudry E, et al. Best practice in forensic entomology - standards and guidelines. International Journal of Legal Medicine 2007;121(2):90-104.
- [6] Ames C, Turner B, Low temperature episodes in development of blowflies: implications for *postmortem* interval estimation. Medical and Veterinary Entomology 2003;17(2):178-186.
- [7] Wells JD, Lamotte LR, Estimating the *postmortem* interval. In: Byrd J and Castner JL, editors, Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations. CRC Press; 2001.p.263-285.
- [8] Lefebvre F, Gaudry E, Forensic entomology a new hypothesis for the chronological succession pattern of necrophagous insect on human corpses. Annales de la Société Entomologique de France 2009;45(3):377-392.
- [9] Gaudry E, Dourel L, Forensic entomology: implementing quality assurance for expertise work. International Journal of Legal Medicine 2013;127(5):1031-7.
- [10] Dourel L, Pasquerault T, Gaudry E et al., Using Estimated On-Site Ambient Temperature Has Uncertain Benefit When Estimating Postmortem Interval. Psyche 2010;Article ID 610639, doi:10.1155/2010/610639
- [11] Milne LA, Bryant VM, Mildenhall DC, Forensic Palynology. In: Coyle HM, Forensic Botany: principles and applications to criminal casework, editors, CRC Press;2005.p.217-252
- [12] Walker M, Entomology and palynology, evidence from the natural world, ed. Mason Crest Publishers, 2006.
- [13] Moore PD, Webb JA, Collinson ME, Pollen Analysis, éd. Blackwell Scientific Publications, Second Edition, 1991.
- [14] Erdtman G, Handbook of Palynology, éd. Munksaard, 1969.
- [15] Punt W, Blackmore S, Nilson S, et al., Glossary of pollen and spore terminology, éd. LPP Fondation, 1994.
- [16] Lombardi G, The contribution of Forensic Geology and Other Trace Evidence Analysis to the Investigation of the Killing of Italian Prime Minister Aldo Moro. J Forensic Sci 1999;44(3):634-642.
- [17] Walsh AJ, Horrocks M, Palynology: its position in the field of forensic science. J Forensic Sci 2008;53(5):1053-1060.
- [18] Lacassagne A, Précis de médecine légale, Paris, éd. Masson, 1906.
- [19] Loir M, Guide des diatomées, Les guides du naturaliste, Paris, éd. Delachaux et Niestlé, 2004.
- [20] Kumar M, Deshkar J, Naik SK et al., Diatom Test – Past, Présent and Future: A Brief Review. IJRRMS 2012; 2(3), 28-32.
- [21] Ludes B, Coste M, Diatomées et médecine légale, éd. Tec&Doc, Lavoisier, Paris, 1996.
- [22] Payne JA, King EW, Insect succession and decomposition of pig carcasses in water. J. Ga. Entomol. Soc 1972; 7:153-162.
- [23] Myskowiak JB, Masselot G et Schuliar Y, Etude des communautés d'invertébrés aquatiques et de la colonisation d'un cadavre ayant séjourné dans un milieu aquatique d'eau douce. Estimation de la période de submersion. J. Med. Leg. – Droit Med. 2005;48:237-246.
- [24] Casamatta DA, Verb RG, Algal colonization of submerged carcasses in a mid-order woodland stream. J. Forensic Sci. 2000;45(6):1280-1285.
- [25] Alacs EA, Georges A, Fitzsimmons NN, et al., DNA detective: a review of molecular approaches to wildlife forensics. Forensic Science Med Pathology 2010;6(3):180-94.
- [26] Linacre A, The use of DNA from non-human sources. Forensic Science International Genetics Supplement Series 2008;1(1):605-6.
- [27] Linacre A, TOBE SS, An overview to the investigative approach to species testing in wildlife forensic science. Investigative Genetics 2011;DOI: 10.1186/2041-2223-2-2.
- [28] Ogden R, Dawnay N, McEwing R, Wildlife DNA forensics - Bridging the gap between conservation genetics and law enforcement. Endangered species Res. 2009;9(3):179-95.
- [29] Wilson-Wilde L, Combating wildlife crime. Forensic Science Med Pathology 2010;6(3):149-50.
- [30] Primorac D, Schanfield M, Forensic DNA applications, an interdisciplinary perspective, Ed. CRC Press, 2014.
- [31] Galimberti A, De Mattia F, Losa A, et al., DNA barcoding as a new tool for food traceability. Food Research International 2013;50(1):55-63.
- [32] Kanthaswamy S, The development and validation of standardized canine STR panel for use in forensic casework. National Institute of Justice (NIJ) National Criminal Justice Reference Service (<https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/grants/226639.pdf>) 2009.

ADN, une perpétuelle avancée

Emmanuel Pham-Hoai^a, Amaury Pussiau^a, Jean-Yves Curci^a

RÉSUMÉ

L'analyse génétique en criminalistique des *short tandem repeats* (STR) aux fins d'alimentation du fichier national automatisé des empreintes génétiques (FNAEG) est devenue un processus maîtrisé tant au niveau des techniques mises en œuvre que de l'interprétation de ses résultats. Repousser les limites de chaque étape analytique constitue le premier aspect du défi s'offrant aux experts en empreintes génétiques, le second étant constitué par l'émergence de nouvelles données génétiques permettant de préciser l'identité des individus. Ces multiples informations scientifiques impliquent dès à présent de repenser un domaine en perpétuelle avancée.

Criminalistique – empreinte génétique – polymorphisme – SNP – STR.

SUMMARY

DNA, an evergrowing field

STR forensic DNA analysis feeding the national french DNA database has become a technically and interpretative mastered process.

Genetic experts are facing a new challenge, first by going beyond the actual technical limits, second by dealing with new forensic genetic data that tends to a more accurate identification.

Consequence of this new genetic data implies to think forensic DNA over, as it is an evergrowing field.

Forensic – DNA – Polymorphism – STR.

1. Introduction

Bien que récent à l'échelle de la science, le recours à l'identification par empreintes génétiques en criminalistique initié en 1983 par Sir Alec Jeffreys est devenu de nos jours un élément technique incontournable au sein de l'enquête judiciaire.

Cette identification est basée sur le polymorphisme des individus, autrement dit les variations individuelles des séquences d'ADN dénommées marqueurs en criminalistique. Le principe d'identification des individus repose sur l'analyse du polymorphisme de courtes séquences de nucléotides répétées en tandem, appelées microsatellites ou STR (*Short Tandem Repeats*). On estime qu'il y a plus de 50 000 STR dans le génome humain et que l'élément répétitif a une longueur égale ou inférieure à six nucléotides. On parle donc de polymorphisme de longueur de l'ADN. L'examen des marqueurs de deux profils génétiques permet de conclure quant à leur ressemblance ou au contraire, leur différence.

Qu'une analyse génétique soit justifiée ou pas, elle fait désormais partie dès le début des investigations des demandes les plus urgentes des acteurs de l'enquête pour déterminer et identifier les propriétaires de profils génétiques issus de scènes d'infractions (criminelles ou délictuelles). Un profil génétique, s'il est simple, peut ain-

si être comparé directement au sein du fichier national automatisé des empreintes génétiques (FNAEG) ou s'il est complexe (cas des mélanges d'ADN ou des profils partiels), faire l'objet d'une interprétation approfondie par l'expert en charge du dossier.

Les succès obtenus sur de grands dossiers criminels ainsi que la mise en place de moyens adaptés afin de démocratiser les analyses génétiques ont eu pour conséquence un engouement de la communauté judiciaire pour cette matière. La vulgarisation médiatique et une mauvaise appropriation du sujet font trop souvent naître des déceptions à la hauteur des espoirs initialement suscités au moment où sont pointées les limites de l'analyse génétique. Ces limites, constituées par la qualité de la matière biologique soumise à l'analyse, l'interprétation de résultats complexes ainsi qu'un pouvoir informatif limité en dehors de toute comparaison, font dès lors l'objet de tentatives de dépassement par la communauté criminalistique.

Cette volonté de dépassement se manifeste par la mise en place de nouvelles stratégies reposant sur l'utilisation ingénieuse des techniques actuelles ainsi que le recours à de nouveaux outils. Paradoxalement, l'amélioration de la sensibilité de la détection en résultant crée un nouveau challenge en termes d'interprétation.

2. Une technique largement éprouvée pour la détermination de profils génétiques

La réalisation d'analyses génétiques en criminalistique suit un processus long et séquencé qui n'est pas limité au laboratoire. De nombreuses recherches ont été conduites au fil du temps pour rendre les analyses plus sensibles, plus rapides et moins chères. Différentes étapes ont ainsi été créées ou supprimées au gré des stratégies adoptées par les laboratoires. Ces stratégies varient grandement en fonction de la nature des prélèvements ainsi que du

^a Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie
Division Criminalistique Biologie et Génétique
Caserne Lange
5 boulevard de l'Hautill
TSA 16808 CARGY
95037 Cergy Pontoise Cedex

Correspondance:

emmanuel.pham-hoai@gendarmerie.interieur.gouv.fr

article reçu le 30 août 2016, accepté le 30 septembre 2016.

© 2016 – Elsevier Masson SAS – Tous droits réservés.

dimensionnement du laboratoire. Toutefois malgré cette variabilité, le processus analytique adopté s'organise généralement autour de 8 étapes.

2.1. Processus analytique

L'analyse d'une trace biologique s'effectue généralement en 8 étapes (figure 1). Les 2 premières : la recherche de la trace et le prélèvement sont généralement effectuées sur la scène d'infraction. Les 6 dernières : la détermination de la trace, l'échantillonnage, l'extraction, la quantification, l'amplification et le génotypage sont effectuées au laboratoire.

2.1.1. Détection de la trace

Initialement les prélèvements s'effectuaient sur des traces visibles présumées riches : sang, sperme et autres fluides biologiques. Toutefois avec les progrès réalisés dans les techniques de biologie moléculaire, il est devenu possible d'obtenir des résultats à partir de traces invisibles et présumées pauvres telles que les traces de contact. Désormais la plupart des traces analysées sont invisibles à l'œil nu. Afin d'améliorer le ciblage des zones à prélever différents outils ont donc été développés. Les sources lumineuses polychromatiques telles que le crimescope® constituent le premier outil utilisé. Leur mise en œuvre s'effectue en deux temps. Ainsi une première observation

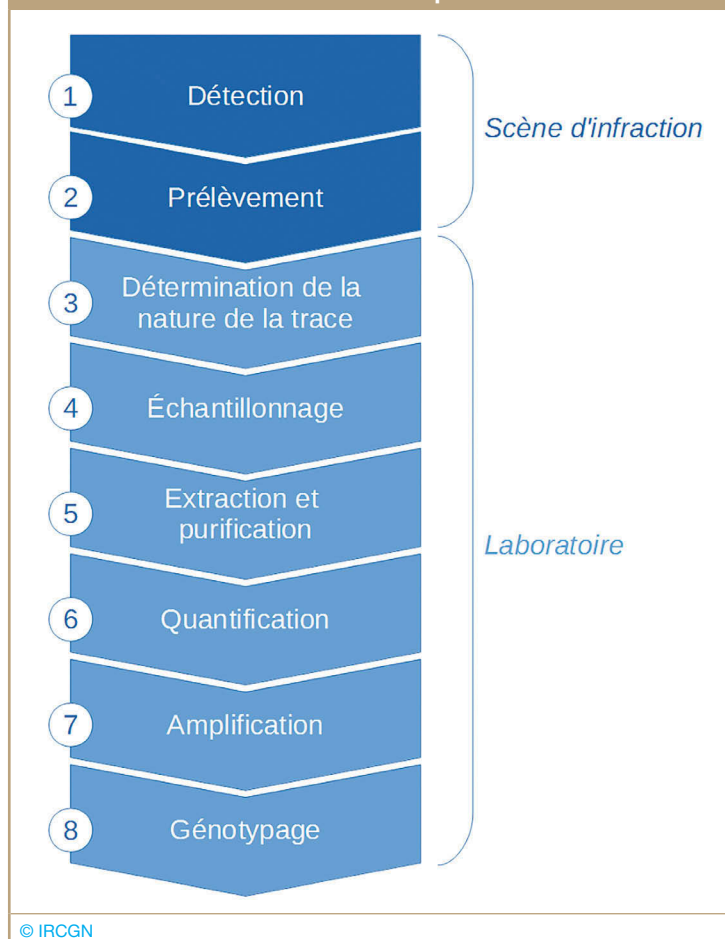
de la scène d'infraction s'effectue à l'aide d'une lumière blanche rasante. Celle-ci permet de mettre en évidence les petits objets directement prélevables (poils, ongles...), les déformations liées à un contact appuyé ou les empreintes digitales invisibles à l'œil nu. Par la suite les lieux sont à nouveau observés à des longueurs d'ondes spécifiques permettant de visualiser les traces de fluides biologiques invisibles à l'œil nu. Ainsi le sperme et la salive peuvent être visualisés par fluorescence lorsqu'ils sont soumis à des ondes lumineuses comprises entre 300 et 480 nm [1]. De même le sang peut être mis en évidence avec des ondes lumineuses d'une longueur d'onde proche de 415nm, puisqu'il y présente une absorbance importante [1]. Cependant certains supports ou détergents fortement absorbants, colorés ou fluorescents peuvent rendre cette recherche difficile [2]. Différents produits tels que le bluestar®, la nihydrine ou l'acide violet 17 peuvent être mis en œuvre pour rehausser la fluorescence ou l'absorbance des fluides biologiques afin d'en faciliter le prélèvement [3]. Cependant ces produits ne sont pas totalement spécifiques et peuvent induire le rehaussement de signaux issus de fluides biologiques animaux ou de composés chimiques. Ainsi l'observation de taches à l'aide de ces dispositifs ne constitue pas une identification formelle de la nature de la trace et nécessite donc des opérations spécifiques subséquentes.

D'autre part, les agents de révélation d'empreinte digitale peuvent également être considérés comme un outil de ciblage utilisé pour le prélèvement de trace biologique. En effet ceux-ci peuvent conduire à la mise en évidence de traces de foulage ou empreintes digitales qui seront prélevées. Bien que nombre d'entre eux s'avèrent compatibles avec les analyses génétiques, certains comme le cyanoacrylate ou le nitrate d'argent produisent des effets néfastes que ce soit par dégradation de l'ADN, réduction du matériel biologique collecté lors de l'échantillonnage ou par inhibition de la PCR [4]. De ce fait des stratégies de priorisation propres à chaque laboratoire ont été mises en place afin de déterminer quels agents de révélation doivent être utilisés en fonction de la nature des analyses à effectuer.

2.1.2. Prélèvement

Le prélèvement de la trace, consiste dans le transfert du matériel biologique sur un support directement exploitable au laboratoire. Certaines traces, de par leur nature, comme les mégots ou les chewing-gums, ne nécessitent pas de transfert sur un support spécifique. Toutefois, la plupart des traces qu'elles soient riches (sang, salive), pauvres (trace de contact), visibles ou invisibles sont prélevées par écouvillonnage. En fonction de la nature de la trace, de son support et de l'écouvillon utilisé, différentes méthodologies existent : utilisation d'un ou plusieurs écouvillons, humidification ou non... [5]. Malgré cette diversité d'approches, l'écouvillonnage ne garantit pas un prélèvement optimal. Dans certains cas il ne permet pas de collecter plus de la moitié du matériel biologique disponible [5]. L'utilisation de bande adhésive constitue une bonne alternative de prélèvement. Cette méthode est d'ailleurs largement utilisée pour prélever des traces lorsque le support est un tissu ou un vêtement [6]. Toutefois elle nécessite une adaptation du protocole analytique et peut s'avérer fastidieuse lorsque les

Figure 1 – Processus analytique des analyses génétiques en criminalistique.



© IRCGN

zones à prélever sont de taille importante [5]. Finalement le M-VAC® constitue le dispositif de prélèvement le plus récent et innovant. Cet appareil permet le prélèvement de matériel biologique à l'aide d'une solution aqueuse. Celle-ci est directement pulvérisée sur la trace à prélever et puis aspirée par une pompe. La solution passe ensuite à travers un filtre qui permet de concentrer le matériel biologique. Ce dispositif accroît considérablement le rendement de prélèvement puisqu'il permet de traiter des zones plus larges et de mieux décoller les cellules de l'ADN du support à traiter [7]. Cependant du fait de son coût et de la technicité nécessaire, son emploi semble être limité aux affaires les plus sensibles.

2.1.3. Détermination de la nature de la trace

La troisième opération, facultative, consiste en la détermination de la nature de la trace. Elle peut être réalisée directement sur scène d'infraction ou au laboratoire. Elle permet d'identifier la nature de l'échantillon biologique concerné : sang, salive ou sperme. Celle-ci s'effectue en 2 temps : à l'aide d'un test présomptif puis à l'aide d'un test de confirmation. Dans le cas du sang l'identification de la trace s'effectue le plus souvent par association des tests Hematix® et Hexagon OBTI® [8]. Le premier repose sur l'activité de pseudoperoxidase de l'hémoglobine, tandis que le second identifie l'hémoglobine humaine par une réaction immunologique. Les traces éventuelles de sperme sont quant à elles soumises dans un premier temps à un test biochimique ou immunologique réagissant le plus souvent à la phosphatase acide prostatique, ou à l'antigène prostatique spécifique (PSA) [9]. Puis celle-ci fait l'objet d'un examen microscopique en vue de l'observation de spermatozoïde. Différentes méthodes de coloration sur lame (coloration de Baecchi au bleu de méthyl et à l'acide fuschin) ou d'immuno-fluorescence (SPERM HY-LITER™) [10] permettent de faciliter l'observation des caractères morphologiques spécifiques des spermatozoïdes. Enfin les traces salivaires sont généralement identifiées grâce à l'alpha amylase. Les tests présomptifs sont le plus souvent de nature biochimique tels que les tests Phadebas® ou saligae Saligae® [11], alors que les tests de confirmation sont de nature immunologique comme le test RSID-SALIVA® [11]. Pour chaque test il existe des substances chimiques ou biologiques pouvant induire des réactions positives non spécifiques (faux positif). Ainsi à titre d'exemple il a été démontré que le test Hemastix® utilisé pour la recherche de sang peut réagir avec des métaux, des plantes et la salive [12]. Les matières fécales, les cellules vaginales et le thé induisent une réaction positive dans les tests biochimiques basés sur l'activité de la phosphatase acide pour la détection du sperme [13]. De même le test RSID-SALIVA® réagit avec la salive de rat [11].

De ce fait l'utilisation conjointe d'un test présomptif et d'un test de confirmation est toujours nécessaire. De plus leurs résultats doivent être interprétés avec précaution. Afin de contourner ces problèmes, un certain nombre de recherches actuelles portent sur l'identification de tissu par l'analyse de marqueurs épigénétiques [14] ou de micro ARN [15]. Toutefois bien que bien plus spécifiques ces méthodes présentent l'inconvénient d'être plus chères et plus tardives dans le processus analytique.

2.1.4. Échantillonnage

La quatrième phase, l'échantillonnage, marque généralement l'entrée dans le laboratoire. Elle consiste au conditionnement des prélèvements en échantillons directement utilisables au laboratoire. Pour la plupart des prélèvements, les écouvillons, cette phase se limite au dépôt de l'écouvillon entier ou de sa tête dans le support d'extraction. De même les éléments de petite taille directement analysables tels que les ongles ou certains éléments pileux sont directement déposés dans le support d'extraction. Les prélèvements de taille plus importante (compresse, tissu) ou suffisamment riche pour ne pas être entièrement consommé (mégots chewing-gum) font l'objet d'une découpe afin de n'en analyser qu'une partie.

2.1.5. Extraction et purification

La cinquième étape est la phase d'extraction et purification. L'extraction consiste en un traitement chimique des échantillons qui permet de lyser les cellules et solubiliser l'ADN. La purification qui est (souvent) son corollaire permet d'isoler l'ADN solubilisé. Dans de nombreux laboratoires l'extraction d'ADN a longtemps reposé sur l'utilisation de méthodes organiques (extraction au phénol/chloroforme) [5] tandis que la purification s'effectuait sur des colonnes de type chelex® 100 [16]. Ces méthodes ont progressivement laissé place à des solutions commerciales diverses et optimisées pour chaque type d'échantillon [5]. Toutefois il semblerait qu'en termes de purification, la technologie des billes magnétiques de silice tend à s'imposer dans la quasi-totalité des laboratoires. Malgré leur efficacité ces techniques ne permettent pas de récupérer la totalité de l'ADN présent dans l'échantillon. Ces pertes qui peuvent atteindre 75 % dans les pires des cas [5], peuvent être imputées à différents facteurs. Ainsi, la nature de l'échantillon (comme les os par exemple) ne permet pas toujours la digestion complète du matériel biologique. De même, des erreurs méthodologiques comme le non essorage des objets d'essai à l'issue de leur extraction ou la non-utilisation de l'intégralité du lysat pour la purification peuvent induire des pertes importantes. Afin de pallier à ce problème les produits de purification, les éluats, peuvent faire l'objet de concentration à l'aide de concentrateurs thermiques ou de dispositifs de filtration tels que le Microcon®, les colonnes Nucleospin® ou Minelutes®. Dernièrement le développement d'approches « directes » permet de passer outre ces problématiques de pertes. Dans ces dernières l'échantillon extrait à l'aide d'un dispositif FTA® ou un tampon spécifique est directement analysé sans phase de purification. Bien qu'efficace cette approche est actuellement limitée aux échantillons riches tels que le sang ou la salive.

2.1.6. Quantification

La quantification vise à déterminer la concentration d'ADN présent dans l'éluat, afin d'adapter les volumes utilisés par la suite. Bien qu'il ne semble pas toujours nécessaire de quantifier l'ADN étant donné la faible concentration attendue, cette information peut être utile au moment d'interpréter les résultats [5]. De plus les échantillons issus du prélèvement de traces de contact ne sont pas toujours pauvres en ADN. En fonction de la nature, de la fréquence

et de la durée du contact des dizaines ou des centaines de nanogrammes d'ADN peuvent être présents [17]. Ainsi cette opération permet notamment d'éviter de sur-amplifier les échantillons riches. En outre les derniers produits de quantification développés tels que le kit Quantifiler Trio® ou InnoQuant® permettent non seulement de quantifier l'ADN mais également d'estimer son éventuelle dégradation, la présence d'inhibiteur ainsi que la proportion de contributeur masculin et féminin.

2.1.7. Amplification

La phase d'amplification correspond à la mise en œuvre de la PCR (*polymerase chain reaction*). Le but de cette opération est de reproduire spécifiquement et massivement les séquences à analyser. Les copies de ces séquences, appelées amplicons, correspondent à des fragments d'ADN double brin de taille spécifique marqué à l'aide de fluorochrome. La PCR est de loin, l'opération analytique qui a fait l'objet du plus grand nombre d'optimisation [5]. Parmi celles-ci on peut citer :

- **L'augmentation du nombre de cycle :** De nombreux articles ont décrit l'efficacité de cette approche [19, 20, 21]. Ainsi des profils complets ont pu être obtenus à partir d'échantillon de 5 à 10 cellules (30 – 60 pg) en passant de 28 à 34 cycles [20].
- **Le raccourcissement des amorces :** BUTLER a mis au point des amorces de taille réduite qui augmentent significativement le succès des amplifications réalisées à partir d'échantillons dégradés [22]. Le kit « minifiler STR kit » d'Applied Biosystem utilise cette approche.
- **L'utilisation de nucléotide synthétique dans les amorces :** Certains nucléotides synthétiques ont des capacités de liaison à l'ADN plus fortes que les nucléotides standards, notamment les LNA (locked nucleotide acid) [23]. L'ajout de ces derniers peut augmenter le taux d'amplification de 300 % [24].
- **La réduction du volume réactionnel :** La sensibilité peut être augmentée par 4 en passant d'un volume réactionnel de 5 µL à 1 µL [25].
- **L'ajout d'adjuvant :** L'ajout d'albumine sérique bovine permet de séquestrer les composés phénoliques qui inhibent la Taq polymérase [26]. Les kits qui en contiennent résistent mieux à l'inhibition.
- **L'augmentation de la quantité d'éluat introduit en PCR :** Les derniers kits développés tels que « Investigator® 24Plex » ou « Globafiler® » permettent d'utiliser 15 µL d'éluat au lieu de 10 augmentant d'autant les chances d'obtenir un profil lorsque l'échantillon présente une faible concentration en ADN.
- **L'utilisation de nouveaux fluorochromes :** l'apparition de nouveaux fluorochromes plus performants et de spectres différents permet de détecter des quantités d'amplicons plus faibles et d'analyser un nombre de marqueurs accrus.
- **L'utilisation d'enzyme recombinante :** les ADN polymérases utilisés dans les kits de dernière génération comme « Investigator® 24Plex » ou « Globafiler® » jouissent d'une activité accrue. Elles permettent de réaliser une PCR en environ 1 heure.

Les STR sont multialléliques et le nombre d'allèles est égal au nombre de répétitions existant au locus considéré. À titre d'exemple, les allèles 6 et 9 du STR THO1 sont composés respectivement de six et neuf éléments répétitifs AATG. Le pouvoir discriminant des STR est donc très élevé car le nombre de répétitions est très variable d'un individu à l'autre, ce qui en fait des marqueurs de choix pour l'identification humaine. Les premiers kits multiplex commerciaux analysant les STR ont été développés dans les années 1990. À cette époque, il était possible d'analyser simultanément 4 STR en une seule réaction. Avec l'apparition récente des kits de nouvelle génération (PowerPlex® Fusion 6C de la société Promega, GlobalFiler® de la société LIFE TECHNOLOGIES et Investigator® 24plex QS de la société Qiagen), il est désormais possible d'amplifier une vingtaine de STR simultanément.

La liste des segments d'ADN sur lesquels peuvent porter les analyses génétiques aux fins d'enregistrement au FNAEG est définie par l'article A38 du code de procédure pénal modifié par arrêté du 10 août 2015 – art. 2 (V).

Les STR analysés possèdent tous un élément répétitif de quatre paires de bases à l'exception du marqueur D22S1045 qui n'en possède que trois. La détermination de genre humain est principalement effectuée par l'analyse du gène de l'amélogénine qui est commun aux chromosomes X et Y. Chez l'homme, ce gène est présent sur le chromosome Y avec une addition de 6 paires de bases par rapport à la version présente sur le chromosome X, ce qui permet de facilement distinguer les deux allèles. Les nouveaux kits d'analyse incluent désormais un ou deux marqueurs sexuels supplémentaires (DYS391 et/ou Yindel) qui peuvent s'avérer utiles pour conforter le genre humain notamment dans le cadre de mélanges d'ADN.

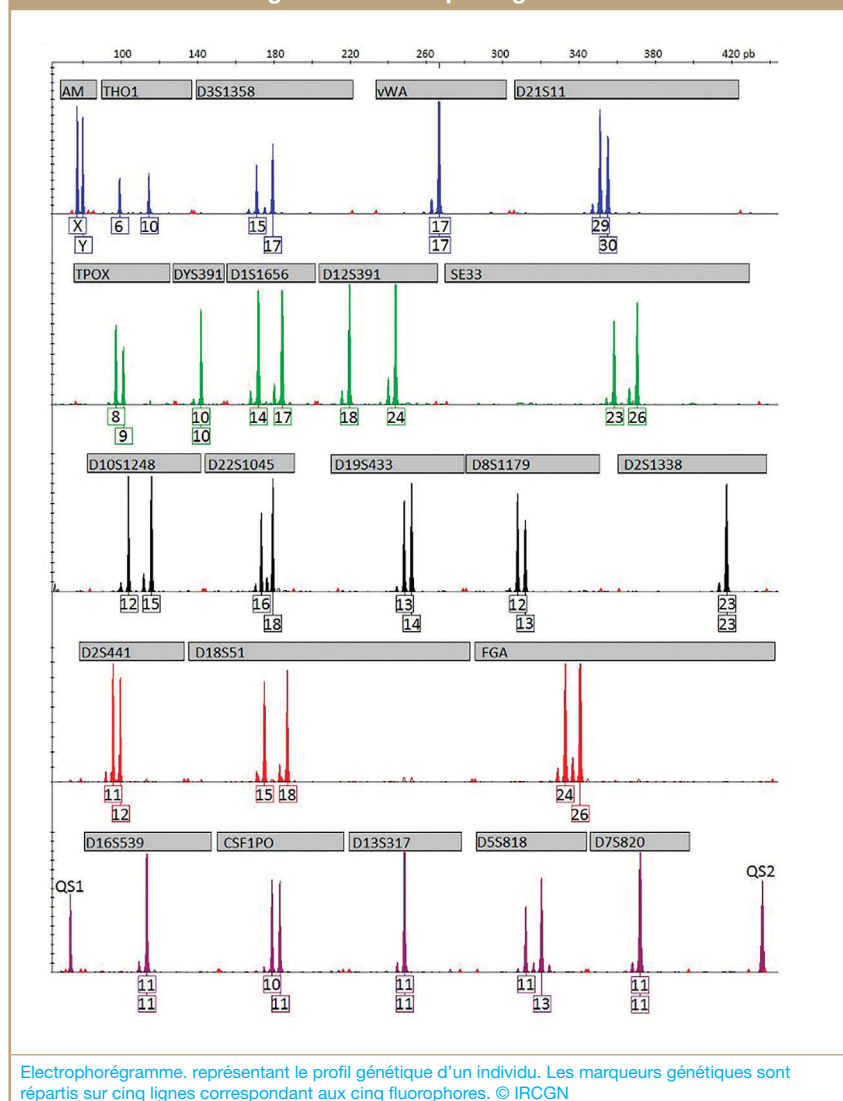
2.1.8. Génotypage

La dernière étape dite de génotypage consiste en une migration différentielle des amplicons dans des capillaires contenant une solution de polymère (électrophorèse capillaire). Ceux-ci sont de ce fait séparés en fonction de leur taille. Leur détection est réalisée par fluorimétrie grâce aux marqueurs fluorescents qui leur sont couplés lors de la PCR. In fine cela permet d'identifier la combinaison allélique de l'échantillon analysé (*figure 2*).

Différentes approches ont été mises en place afin d'accroître la quantité d'amplicons injectés dans le capillaire et ainsi d'augmenter l'intensité des profils obtenus :

- **La purification des produits d'amplification :** L'utilisation de dispositifs de microfiltration tels que les colonnes Minelutes® permet la suppression d'anion comme le Cl⁻. Ceux-ci sont impliqués dans des phénomènes de compétition intermoléculaire avec l'ADN au cours de l'injection électrophorétique.
- **La concentration des produits d'amplification :** La concentration des amplicons par une réduction du volume de produit de PCR permet une augmentation significative de la quantité d'amplicons déposés en électrophorèse. Toutefois cette approche induit une hausse de l'intensité des artefacts [27].
- **L'augmentation de la durée et de la tension d'injection :** Celles-ci permettent d'accroître la quantité d'amplicons introduite dans le capillaire [28].

Figure 2 – Electrophorégramme.



3. Interprétation : principes et limites

Aboutissement du travail technique, l'interprétation des profils génétiques par l'expert a pour finalité de traduire en termes simples le langage scientifique ayant donné lieu au résultat brut.

Malgré la mise en place par la communauté criminalistique d'outils informatiques d'aide à la décision, force est de constater que le travail d'interprétation se base principalement sur l'expérience acquise sur les cas les plus complexes. La diversité du vivant et sa difficulté à le modéliser expliquent cette difficulté à établir des règles couvrant tous les cas de figure.

Plusieurs catégories de profils génétiques sont à distinguer :

- les profils simples
- les profils partiels
- les mélanges exploitables
- les mélanges non exploitables

L'interprétation d'un profil simple est la plus aisée et constitue la base de l'apprentissage du jeune expert. Les profils simples issus de prélèvements sur des individus présentent en effet la particularité d'être issus d'une seule source et d'être riches en matière biologique. L'électrophorégramme d'un profil simple présente pour chaque marqueur examiné des allèles distincts à l'intensité forte et équilibrée dans le cas des individus hétérozygotes ; pour les individus homozygotes, les allèles examinés se confondront en un seul signal dont l'intensité sera double de celle des hétérozygotes.

Les incidents d'analyse, les effets stochastiques, les artéfacts et les allèles silencieux, sont connus et maîtrisés et ne constituent donc pas un obstacle à l'interprétation des profils simples.

Les effets stochastiques, autrement dit une mauvaise amplification de l'ADN due à la présence d'inhibiteurs ou à une qualité ou quantité inégale de la molécule, donnent lieu à de légères variations dans l'équilibre des allèles hétérozygotes. Les artéfacts correspondent à des produits d'amplification distincts des allèles amplifiés. Ils consistent en des « stutters » (produits d'amplification non finis plus courts que les allèles attendus) caractérisés par une intensité relative inférieure à 15 %, et l'adénylation (ajout d'une adénosine à un produit d'amplification). *A contrario*, les allèles

silencieux (« *null alleles* ») consistent en leur absence d'amplification révélée par la discordance entre deux analyses.

Les cas particuliers consistant en des profils simples dits tri-alléliques résultent de la présence de fragments supplémentaires de chromosomes, voire d'un chromosome supplémentaire dans le cas de la trisomie 21.

La comparaison entre deux profils génétiques simples fait appel à la probabilité de coïncidence fortuite, autrement dit la possibilité chiffrée de retrouver au sein d'une population d'individus non apparentés les mêmes caractéristiques génétiques examinées. Le calcul de cette probabilité se base sur les fréquences de distribution des allèles observés au sein d'une population. Pour chaque marqueur, un produit des fréquences alléliques observées est effectué. Ces produits sont ensuite multipliés entre eux pour aboutir à la valeur de la probabilité recherchée. Compte tenu de valeurs excessivement élevées dans le cas d'une correspondance entre deux profils génétiques et pour lesquelles de très grands chiffres seraient de nature à rendre confus le résultat de ce calcul auprès de non-scientifiques, des

valeurs de verbalisation ont été retenues. Ainsi, pour deux profils génétiques examinés sur 16 marqueurs et présentant les mêmes allèles, cette probabilité de coïncidence fortuite pour des individus non apparentés est de un sur un milliard.

Les profils partiels possèdent des marqueurs pour lesquels certains des allèles correspondants (voire tous) sont absents. La problématique est alors de disposer d'un nombre suffisant de marqueurs dûment renseignés afin de pouvoir rendre un résultat donnant lieu à exploitation (insertion au sein du FNAEG ou comparaison avec d'autres profils génétiques mélangés). Ces profils résultent le plus souvent de prélèvements biologiques dégradés, ayant subi de mauvaises conditions de conservation comme l'exposition aux ultra-violets et à des variations conséquentes de température et d'humidité. Le fait de disposer de marqueurs incomplets a nécessairement une incidence sur le calcul de la probabilité de coïncidence fortuite pour deux profils génétiques examinés, réduisant sa valeur. Les réanalyses offrent des possibilités d'amélioration du résultat obtenu par dilution de l'extrait d'ADN pour réduire les effets des inhibiteurs de la PCR ou au contraire, concentration de ce même extrait dans le cas où un nombre important d'allèles détectés seraient d'intensités trop faibles. Également, le recours à un kit d'amplification dont la sensibilité diffère du premier employé peut constituer une solution d'amélioration du profil génétique obtenu. Cependant, il convient de garder à l'esprit que le recours à ces options ne corrigera jamais la mauvaise qualité d'un échantillon biologique et ne permet donc pas d'obtenir des résultats à partir de ce qui a été définitivement dégradé. Ces stratégies analytiques constituent donc un contournement de la difficulté plutôt que sa résolution.

Les mélanges d'ADN constituent pour leur part le plus grand défi imposé à l'expert. De façon générale, déterminer la présence d'un mélange repose sur l'observation de caractéristiques totalement opposées à celles constatées pour un profil simple.

À partir de plus de deux allèles présents sur plusieurs marqueurs, l'hypothèse de la présence de deux individus au sein de l'échantillon examiné doit être prise en compte. De manière cumulative, les marqueurs comportant deux allèles pour lesquels est observé un fort déséquilibre au niveau de leur intensité renforcent cette hypothèse; en effet, ce déséquilibre est l'opposé de ce qui est attendu pour profil génétique issu d'une seule source biologique. Dans la mesure du possible, la fiabilité de l'information délivrée doit alors être confirmée par le biais d'une nouvelle analyse. Le choix d'y recourir va être motivé par la première observation du mélange, qui indiquera si ce dernier est exploitable ou non.

Les mélanges dits exploitables présentent pour certains marqueurs des allèles se démarquant des autres par leur intensité mais également par une certaine propension à tendre vers l'équilibre. Les hypothèses d'attribution des allèles à un même individu font appel à des principes de biologie moléculaire ainsi qu'à l'expérience acquise par l'analyste. Les principes reposent sur le fait que les proportions d'ADN apportées par chaque contributeur au mélange seront approximativement maintenues au cours

de l'amplification de l'ADN; l'intensité des pics obtenus sera alors considérée comme reflétant lesdites proportions. Ainsi, en présence d'un mélange impliquant deux contributeurs, les allèles les plus intenses représenteront ceux du majoritaire et inversement pour les minoritaires. Une difficulté résidera dans la distinction des pics correspondant réellement à des allèles de ceux correspondant à des artefacts, phénomène aggravé dans les mélanges. Un calcul d'intensité relative peut aider l'expert à prendre une décision pour effectuer cette distinction. Il s'agit alors de diviser l'intensité du pic le plus faible par celle du pic le plus fort pour un marqueur donné; les allèles présentant des valeurs d'intensité relatives comprises entre 15 % et 60 % peuvent alors être considérés comme faisant partie du mélange.

Les mélanges non-exploitable se présentent sous l'aspect inverse: multitude de signaux pouvant aussi bien correspondre à des allèles qu'à des artefacts et pour lesquels la difficulté sera de se prononcer scientifiquement. Cette multitude peut être révélatrice de contributeurs supérieurs à trois. De façon empirique, plus le nombre de contributeurs sera élevé, plus les chances d'identifier les profils complets seront faibles.

Tout comme la problématique des profils partiels, les mêmes stratégies de contournement de la difficulté liée à la nature du mélange peuvent être mises en œuvre afin d'améliorer la lecture du résultat obtenu. Une réanalyse aura pour finalité d'examiner la stabilité et la cohérence du mélange: de manière concrète, sont ainsi attendus dans des proportions similaires les mêmes allèles pour les marqueurs considérés voire une amélioration de l'électrophorégramme. Un résultat totalement contradictoire correspond dès lors à une absence de résultat interprétable: de l'ADN est présent mais il est impossible d'en déterminer les caractéristiques aux fins d'identification.

La détermination de mélanges d'ADN étant par nature complexe, sa comparaison avec des profils de référence le sera tout autant. Pour ce faire, l'expert s'appuiera sur une méthode de calcul distincte de celle de la probabilité de coïncidence fortuite mais ayant pour finalité de rendre accessible les résultats aux non-scientifiques: le rapport de vraisemblance.

Le rapport de vraisemblance cherche à comparer deux hypothèses contradictoires entre elles. Dans le cas des mélanges à trois contributeurs, la première hypothèse est que le profil du suspect, de la victime et celui d'une personne prise au hasard dans la population d'intérêt et non apparentée aux précédentes constituent ledit mélange. La seconde hypothèse affirmera que le mélange d'ADN observé provient des profils génétiques de la victime et de deux personnes prises au hasard dans la population d'intérêt et non apparentées aux précédentes.

À l'issue du calcul du rapport de vraisemblance, son résultat s'exprimera sous la forme suivante: il est n fois plus probable d'observer ce mélange de profils génétiques dans l'hypothèse où il provient du suspect, de la victime et celui d'une personne prise au hasard dans la population d'intérêt et non apparentée aux précédentes par rapport à l'hypothèse où il proviendrait de la victime et de deux personnes prises au hasard dans la population d'intérêt et non apparentées aux précédentes.

4. Repousser les limites des techniques

4.1. Détermination de la nature de la trace

La détermination de la nature d'une trace repose actuellement sur diverses techniques immunologiques et biochimiques qui ne permettent de déterminer qu'un seul type cellulaire à la fois ; il serait intéressant de disposer d'une technique permettant de regrouper les différents types. En 1999, il a été démontré qu'il était possible de déterminer la nature de traces biologiques en se basant sur l'analyse du profil d'expression des ARN messagers car certains sont relativement spécifiques du tissu dans lesquels ils s'expriment. En 2005, ce sont quatre fluides biologiques qui pouvaient être détectés en une seule réaction, à savoir le sang, la salive, le sperme et les sécrétions vaginales [29]. L'analyse était réalisée par transcription inverse et amplification des ADNc (RT-PCR) puis électrophorèse capillaire, technologies qui sont toujours couramment employées dans les laboratoires de police scientifique. Par exemple, les cellules de la muqueuse vaginale sont identifiées par détection de l'ARNm du gène qui code pour la protéine MUC4 (mucine 4). De même, la présence de sperme peut être identifiée par détection de l'ARNm du gène PRM1 (protamine 1) qui code une protéine liée à la formation des spermatozoïdes. L'analyse de ces marqueurs peut donc s'avérer très utile notamment dans le cas d'agressions sexuelles où il est particulièrement important de déterminer quelle est la nature de la trace laissée par l'auteur. Les circonstances ne seront pas du tout les mêmes si la trace laissée par l'auteur provient d'une trace de sperme ou d'un autre type cellulaire. Ces tests peuvent alors conforter ou prouver qu'il y a eu agression sexuelle. Pour aller plus loin, l'ARNm et l'ADN doivent être co-purifiés pour déterminer en une seule manipulation la nature d'une trace ainsi que le profil génétique d'un individu. Il a d'ailleurs déjà été proposé d'analyser par séquençage haut débit une dizaine d'ARNm avec 9 STR [30]. Le panel d'ARNm tend donc à s'étoffer au cours des années pour détecter et différencier davantage de types cellulaires (sang menstruel, sang périphérique, salive, sperme, sécrétion vaginale, peau) mais il faut prendre en compte le fait que certains ARNm sont exprimés dans plusieurs types cellulaires. Il est donc approprié d'effectuer une analyse quantitative de la combinaison de ces marqueurs ARNm pour identifier de façon certaine la nature de la trace.

4.2. Microdissection laser : une séparation des cellules pour contourner la problématique des mélanges

Les outils d'aide à l'interprétation des mélanges d'ADN n'ont pas vocation à résoudre le problème physique d'aggrégation de molécules différentes au sein d'un même tube d'analyse. Une approche pour tendre vers une distinction des cellules en fonction de leur propriétaire passe par le recours à la microdissection laser.

Technique initialement employée en oncologie pour séparer les cellules saines des cellules cancéreuses, elle a su trouver un usage en criminalistique pour séparer les

différents types cellulaires. Son mode d'action consiste premièrement en une coloration spécifique selon le type de cellule à identifier ; ces cellules sont ensuite observées au microscope et sont informatiquement marquées en vue de leur découpe ; enfin, la découpe au laser permet de récupérer dans un tube dédié les cellules sélectionnées. En criminalistique, la force de la technique est de permettre la distinction au microscope des spermatozoïdes des cellules épithéliales. Cependant, pour un même type cellulaire, les techniques de coloration actuelle ne permettent pas de distinguer les cellules issues d'un individu ou d'un autre. Dans le cas de contributeurs multiples au sein d'un échantillon, la découpe et l'analyse génétique de cellules du même type, par exemple les cellules épithéliales, peut ainsi donner lieu tant à un profil simple qu'à un mélange de profils génétiques. Quel que soit le nombre de coupes réalisées et leur répartition au sein de multiples tubes, l'impossibilité de rattacher une cellule à une personne donnée rend le résultat aléatoire (profil simple ou mélanges de profils) à l'inverse de ce qui est attendu.

Pour résoudre cette difficulté, des pistes faisant appel à l'immunohistochimie semblent constituer une voie prometteuse. Par le biais d'une individualisation caractéristique des cellules issues d'un même individu, elles présenteraient le double avantage de dénombrer le nombre de contributeurs au sein d'un échantillon et de maximiser le potentiel de séparation du microdissecteur laser.

4.3. Gestion de l'inhibition

Vu la diversité des objets d'essais analysés, il arrive que certaines substances soient « co-purifiées » avec l'ADN. Ces substances peuvent interférer avec le processus de recopiage moléculaire, voir l'inhiber totalement, ce qui provoque l'apparition de faux négatifs. Afin d'éviter l'apparition de ceux-ci, des sociétés commerciales ont intégré à leurs kits de PCR un contrôle interne de PCR qui va renseigner sur l'efficacité de la PCR.

Le principe du contrôle interne du kit Investigator 24plex QS consiste à amplifier en plus des marqueurs STR, deux fragments d'ADN appelés « Quality Sensor 1 » et « Quality Sensor 2 » (QS1 et QS2). Les amorces des Quality Sensor sont conçues pour ne pas s'hybrider à l'ADN humain mais à un ADN synthétique pour donner deux produits faciles à distinguer du profil génétique. Leur amplification ne dépend donc pas de la quantité d'ADN extraite d'un objet d'essai. Le QS1 est représentatif de l'amplification des marqueurs STR de petite taille et le QS2 des marqueurs STR de grande taille. En fin d'analyse, les deux Quality Sensor (ou capteurs de qualité) apparaîtront sur l'électrophorogramme sous forme de deux pics qui encadrent le profil génétique. Le premier apparaissant à 74 bp (QS1) et le second à 435 bp (QS2). D'une manière générale, si aucun capteur de qualité n'est visible sur l'électrophorogramme, cela signifie que la PCR n'a pas fonctionné. Il sera alors nécessaire de recommencer la PCR car aucun profil génétique ne sera détecté.

À l'inverse, si les deux capteurs de qualité (QS1 et QS2) sont visibles sur l'électrophorogramme, cela signifie que la PCR s'est correctement passée.

Si le capteur de qualité QS1 est amplifié alors que le QS2 ne l'est pas, cela signifie qu'il n'y a pas eu d'amplifica-

tion des fragments de grande taille (localisés à droite sur l'électrophorégramme). On peut donc conclure à une inhibition de la PCR.

De nombreux inhibiteurs tels que l'hématine, l'acide humique, l'acide tannique, l'indigo, le calcium, le collagène et la mélanine peuvent interférer avec la PCR. Étant donné que ces substances n'ont pas toutes le même mode d'action pour inhiber la PCR, il existe donc plusieurs stratégies pour contrer leurs effets. On peut rajouter un peu plus d'ADN polymérase pour compenser celles qui sont bloquées par les inhibiteurs. On peut également rajouter de la sérumbumine bovine (BSA), qui va venir capturer les molécules d'inhibiteurs et donc les empêcher de se fixer à l'enzyme. Une autre technique consiste à rajouter des ions magnésium (Mg^{2+}) cofacteurs de l'enzyme nécessaire à l'activité enzymatique.

Toutes ces stratégies nécessitent de connaître à quel type d'inhibiteur nous sommes confrontés, ce qui n'est pas le cas dans nos analyses. Les deux stratégies qui s'avèrent être les plus simples à mettre en œuvre sont la dilution de l'extrait d'ADN (et donc de l'inhibiteur) ou la re-purification de l'ADN. La limite de ces deux techniques est qu'elles ne fonctionnent pas ou peu pour les très faibles quantités d'ADN.

En dernier lieu, lorsqu'un profil génétique apparaît déséquilibré et que seuls les petits STR sont amplifiés, la présence du QS2 permet de confirmer que l'ADN analysé est dégradé. Dans ce cas-là, il faudra changer de méthode d'analyse afin de détecter des séquences d'ADN plus courtes (analyse de miniSTR ou de SNP).

4.4. ADN Rapide

La capacité des laboratoires à effectuer des analyses de manière rapide, facile et fiable permet d'accélérer grandement le processus d'enquête. Des sociétés ont ainsi développé des systèmes d'analyses basés sur la microfluidique pour miniaturiser, automatiser et intégrer dans un seul instrument les différentes étapes d'analyse nécessaires à l'obtention d'un profil génétique (lyse cellulaire, amplification par PCR et séparation par électrophorèse capillaire). Cette intégration passe par la maîtrise de l'écoulement des fluides, de la distribution et du stockage des réactifs. Ces systèmes, qualifiés de « RapidDNA », sont capables d'effectuer l'analyse génétique en moins de deux heures à partir d'un prélèvement buccal ou d'un écouvillon, par des non-spécialistes et directement sur le terrain. L'appareil est conçu pour être transportable dans un coffre de voiture, et utilisable directement par les enquêteurs.

La société IntegenX est la première à avoir commercialisé sur le marché américain en 2012 son appareil, le Rapid-HIT200, qui est capable d'analyser jusqu'à 5 prélèvements en une fois. Vu le potentiel qu'offre cette technologie, d'autres sociétés ont également développé avec plus ou moins de succès leurs appareils : le DNAscan (NetBio), le ParaDNA (LGC forensics), l'Intrepid (Lockheed-Martin et ZyGEM), le Portable DNA Analyzer (NEC) et le MIDAS (Forensic Science Service).

Ces appareils sont principalement conçus pour déterminer en un minimum de temps le profil génétique d'un suspect pour le comparer à une base de données génétiques ou à

d'autres profils de références. L'analyse ADN servira ainsi à confirmer ou à exclure la participation d'une personne aux faits reprochés. Il s'agit là du cas le plus favorable car l'ADN analysé est présent en grande quantité, en bon état et provient d'une seule source, ce qui exclut tout mélange et permet une validation informatique du profil génétique sans qu'il y ait besoin de recourir à un expert. On peut très bien imaginer que ces appareils seront utilisés n'importe où en France dans le cadre d'un dispositif projetable, mais il est certain que leur mise en œuvre ne sera effectuée que par des techniciens qualifiés et que l'interprétation se fera toujours par le biais de l'expert afin de respecter la réglementation française.

En ce qui concerne l'analyse des traces prélevées sur une scène d'infraction, la quantité d'ADN à analyser est souvent très faible, de qualité bien moindre et peut provenir de plusieurs contributeurs. La capacité à obtenir un profil génétique décroît d'autant plus que la quantité d'ADN est faible. Aujourd'hui, ces appareils ne permettent pas encore d'obtenir des profils génétiques d'aussi bonne qualité qu'une analyse effectuée en laboratoire avec des protocoles bien formalisés et éprouvés [31,32]. Il y a donc davantage de risques d'obtenir des profils partiels, des artefacts ou de faux négatifs en utilisant cette technologie plutôt que la technique classique où l'on peut au préalable quantifier et concentrer l'extrait d'ADN. Pour être totalement opérationnels, ces appareils devront tous pouvoir s'adapter au kit de PCR de dernière génération afin d'analyser un maximum de marqueurs STR [33].

4.5. L'analyse des SNP

Le pouvoir discriminant élevé des STR est lié au polymorphisme multiallélique des marqueurs analysés, ce qui en fait un outil de choix pour l'identification humaine. Bien que l'analyse des STR soit facile à mettre en œuvre, elle peut se révéler inadaptée pour l'analyse des fragments d'ADN dégradé.

Plusieurs facteurs environnementaux tels que la lumière, la chaleur et l'humidité dégradent l'ADN. Les dommages causés aux molécules d'ADN ont pour effet de limiter la quantité d'ADN amplifiable. Les grands fragments d'ADN sont plus sujets à la dégradation, et sont donc les premiers à ne pas être amplifiés. Il est alors parfois difficile de détecter les microsatellites ce qui se traduit par un profil génétique partiel.

Il devient alors intéressant d'analyser un autre type de polymorphisme : celui des SNP (pour (Single Nucleotide Polymorphisme) car les régions d'ADN amplifiées sont de petites tailles. La séquence d'analyse contenant les SNP peut être réduite à 50-150 nucléotides puisque le polymorphisme est ponctuel, alors que les STR utilisés aujourd'hui nécessitent d'amplifier des séquences pouvant aller jusqu'à 450pb. L'étude des SNP offre ainsi la possibilité d'approfondir les analyses lorsque l'étude des STR échoue.

Le SNP est un polymorphisme qualifié de biallélique. Considéré individuellement, il contient une information génétique très inférieure à celle des marqueurs multialléliques de type STR. Il est donc nécessaire d'analyser 4 à 5 SNP pour égaler l'information contenue dans un

microsatellite [33]. L'analyse des SNP est compatible avec une grande variété de plateformes technologiques et présente un fort potentiel d'automatisation. En criminalistique, on utilise le séquençage de nouvelle génération (*Next Generation Sequencing*) pour analyser une centaine de SNP afin de pouvoir obtenir un pouvoir de discrimination significatif. Le système de séquençage MiSeq de la société Illumina permet le séquençage en simultané de plusieurs millions de fragments d'ADN. La technologie utilisée repose sur une amplification des fragments d'ADN sur support solide suivi d'un séquençage par synthèse et détection optique des nucléotides marqués. Le système de séquençage « PGM » (*Personal Genome Machine*) de la société Life Technologies permet également de séquencer en parallèle plusieurs millions de fragments d'ADN mais repose sur une technologie qualifiée de « postlight » car la détection des nucléotides ne s'effectue plus à l'aide de fluorophore mais par détection d'ions H⁺.

La caractéristique biallélique des SNP s'avère bien adaptée à l'analyse de l'ADN pur mais devient vite complexe dans l'interprétation des mélanges d'ADN de plusieurs individus. Vu l'efficacité des bases de données nationales qui contiennent des millions de profils, le remplacement des STR par des SNP pour l'identification génétique n'est pas envisageable. Cependant, le séquençage des STR pourrait constituer une solution d'avenir dans la déconvolution des mélanges complexes en s'intéressant aux variations de séquence des amplicons.

5. Repenser l'information génétique en criminalistique

L'information génétique employée en criminalistique sous la forme de STR constitue désormais la norme pour les laboratoires qui disposent globalement des mêmes appareils et réactifs. Le FNAEG ne connaît d'ailleurs que cette dernière dans le cadre des rapprochements de profils connus issus de suspects et inconnus issus de prélèvements effectués sur les scènes d'infraction, quel que soit le dossier considéré. Des rapprochements entre dossiers de natures différentes peuvent ainsi être effectués, tout comme des rapprochements de profils génétiques appartenant au même dossier.

Néanmoins, les STR ne sauraient à eux seuls constituer l'unique source d'information génétique : les STR s'intéressant aux chromosomes X et Y constituent des marqueurs de lignée trouvant toute leur pertinence en complément ou absence de leurs homologues autosomaux. Leur faiblesse est cependant de ne pas être centralisés au sein d'une même base de données mais gérés par l'expert en charge de l'analyse. Cette même problématique informative est également rencontrée avec l'ADN mitochondrial excepté que, en dépit d'un pouvoir discriminant moindre, ce dernier permet de s'intéresser à des échantillons dégradés.

Autre source d'information pleine de promesses, les SNP à l'aide du séquençage nouvelle génération. Au-delà de leur pouvoir d'identification, ils présentent la particularité de s'intéresser aux caractères phénotypiques d'un extrait d'ADN, tel que l'arrêt de la cour de cassation du

25 juin 2014 les définit et communément appelés « portrait-robot génétique ». Il convient toutefois de nuancer la portée des informations phénotypiques obtenues : en l'état des connaissances, des orientations concernant la couleur des yeux, des cheveux, de l'origine géo-ethnique, la calvitie, les taches de rousseur et la morphologie du cheveu peuvent être proposées au requérant. Le nombre de critères examinés donnera un résultat éloigné de celui d'un portraitiste travaillant à partir d'un témoignage. À cela il est nécessaire de rajouter la jeunesse de la matière et l'absence de recul en découlant qui appellent à une certaine retenue.

La diversité de l'information génétique et sa dissémination, pour celle ne correspondant pas à des STR autosomaux, pose le problème de son exploitation tant par l'expert que par l'enquêteur.

Dans le cas idéal où l'expert pourrait à partir d'un unique échantillon obtenir les résultats relatifs aux STR autosomaux et sexuels, à l'ADN mitochondrial et aux SNP, seuls les STR autosomaux seront centralisés et comparés. Les autres types d'information génétique pourront être quant à eux comparés par l'expert à la condition de disposer de tous les échantillons (ou leurs résultats au même format) de référence d'un même dossier. Ainsi, dans l'hypothèse où la comparaison se ferait uniquement à partir de SNP pour cause de STR inexploitable, cette opération ne concernera qu'un seul dossier, excluant *de facto* le rapprochement de dossiers différents et dont le lien serait un même profil génétique SNP. Se pose dès lors la question de l'insertion de ces données au sein du FNAEG afin de permettre leur pleine exploitation en termes de rapprochements.

La même problématique de perte de pouvoir informatif se pose pour les marqueurs relatifs à la lignée (STR X et Y, ADN mitochondrial) qui nécessitent obligatoirement une comparaison avec des prélèvements de référence. Il convient dès lors de penser à leur intégration au sein du FNAEG et à leur usage dans le cadre de la recherche en parentèle. Ce type de recherche consiste à trouver au sein de la base de données un ou plusieurs profils génétiques connus présentant 50 % de ressemblance avec un profil inconnu prélevé sur une scène de crime (trace) et représentant donc un possible ascendant ou descendant. Les résultats portent uniquement sur l'examen des STR autosomaux. Les profils ressemblants sont triés par ordre alphabétique et sont communiqués sous cette forme au requérant. À partir de cette liste, il appartient ensuite à l'enquêteur de confirmer ce possible lien de parenté à l'aide d'analyses complémentaires faisant appel aux marqueurs de lignée. La campagne de prélèvements lui incombe, engendrant des délais d'autant plus longs que la liste transmise est importante. Dans un souci d'efficacité de cette recherche en parentèle, avoir en base, pour chaque profil génétique enregistré, ces marqueurs de lignée constituerait un gain de temps et d'énergie conséquent. Permettant pour une recherche en parentèle de restreindre les candidats proposés à ceux appartenant à la même lignée que la trace, cette démarche donnerait la possibilité au requérant de s'intéresser immédiatement aux profils génétiques ayant une pertinence scientifique avérée.

Seul le « portrait-robot génétique » semble pouvoir contourner cette difficulté d'absence de centralisation des données. Fonctionnant sur la concordance entre l'observation d'un individu et les marqueurs phénotypiques analysés, il offre la possibilité à celui qui dispose de l'information génétique de procéder à son niveau à cette vérification.

6. Conclusion

L'information génétique, initialement unique et centralisée, prend de nouvelles formes grâce à une maîtrise accrue des techniques. Pour en tirer pleinement parti, il devient indispensable de la repenser de manière globale : les volumes de données générées augmentent le temps nécessaire à leur interprétation et font appel à

de nouveaux schémas de réflexion pour l'expert. Les résultats qui seront prochainement rendus à l'aube du séquençage nouvelle génération se devront d'établir un lien entre toutes ces données qui, prises isolément, ne pourraient pas donner la pleine mesure de leur pouvoir informatif.

Il convient dès lors de voir les profils génétiques, quelle que soit leur forme, non comme un agrégat de données, mais comme une véritable carte d'identité génétique de l'échantillon conjuguant autonomie d'identification (portrait-robot génétique et SNP), lien avec un fichier centralisateur (STR autosomaux) et établissement de liens familiaux (STR X et Y, ADN mitochondrial).

Liens d'intérêts : les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts avec le contenu de cet article.

Références

- [1] Stolic M Detection of semen and bloodstain using the polilight as light source. *Forensic Sci Int* 1991;51:289-96.
- [2] Lloyd JBF. Forensic significance of fluorescent brighteners: their qualitative TLC characterization in small quantities of fiber and detergents. *J Forensic Sci Soc* 1977;17:145-52.
- [3] Simmons R, Deacon P, Phillips DJ, et al., The effect of mark enhancement techniques on the subsequent detection of saliva. *Forensic Sci Int*. 2014;244:231-46.
- [4] Kumar P, Gupta R, Singh R, et al., Effects of latent fingerprint development reagents on subsequent forensic DNA typing: A review. *J Forensic Leg Med*. 2015;32:64-9.
- [5] Van Oorschot RAH, Ballantyne KN, Mitchell RJ. Forensic trace DNA: a review. *Investig Genet*. 2010 1: 14.
- [6] Wickenheiser RA. Trace DNA: a review, discussion of theory, and application of the transfer of trace quantities of DNA through skin contact. *J Forensic Sci*. 2002;47:442-450.
- [7] Hedman J, Ågren J, Ansell R. Crime scene DNA sampling by wet-vacuum applying M-Vac. *Forensic Sci Int Genet Suppl Ser*, 2015;5:89-90.
- [8] Frippiat C, De Roy G, Fontaine LM, et al., Nylon flocked swab severely reduces Hexagon Obti sensibility. *Forensic Sci Int*. 2015;247:126-9.
- [9] J.P. Simich, S.L. Morris, R.L. Klick, K, et al., Validation of the use of a commercially available kit for the identification of prostate specific antigen (PSA) in semen stains. *J. Forensic Sci.*, 1999;44,1229-31.
- [10] Westring CG, Wiuf M, Nielsen SJ, et al., SPERM HY-LITER™ for the identification of spermatozoa from sexual assault evidence. *Forensic Sci Int Genet*. 2014;12:161-7.
- [11] Pandeshwar P, Das R. Role of oral fluids in DNA investigations. *J Forensic Leg Med*. 2014;201;22:45-50.
- [12] Matheson CD, Veall MA. Presumptive blood test using Hemastix® with EDTA in archaeology, *Journal of Archaeological Science*, 2014;41,230-241.
- [13] Hoof PJ, van de Voorde H. Interference of body products, food and products of daily life with the modified zinc test and the acid phosphatase test. *Forensic Sci. Int.*, 1994; 66(3),187-196.
- [14] Silva DS, Antunes J, Balamurugan K, et al., Developmental validation studies of epigenetic DNA methylation markers for the detection of blood, semen and saliva samples. *Forensic Sci Int Genet*. 2016;1:55-63.
- [15] Sauer E, Reinke AK, Courts C. Differentiation of five body fluids from forensic samples by expression analysis of four microRNAs using quantitative PCR. *Forensic Sci Int Genet*. 2016;22:89-99.
- [16] Walsh PS, Metzger DA, Higuchi R. Chelex 100 as a medium for simple extraction of DNA for PCR-based typing from forensic material. *Biotechniques*. 1991;10:506-513.
- [17] Castella V, Mangin P. DNA profiling success and relevance of 1739 contact stains from casework. *Forensic Sci Int Genet Suppl Ser*. 2008;1:405-407.
- [18] Caddy B, Taylor GR, Linacre AMT. A review of the science of low template DNA analysis. 2008.
- [19] Gill P, Whitaker J, Flaxman C, Brown N, Buckleton J. An investigation of the rigor of interpretation rules for STRs derived from less than 100 pg of DNA. *Forensic Sci Int*. 2000;112:17-40.
- [20] Whitaker JP, Cotton EA, Gill P. A comparison of the characteristics of profiles produced with the AmpFISTR SGM Plus multiplex system for both standard and low copy number (LCN) STR DNA analysis. *Forensic Sci Int*. 2001;123:215-223.
- [21] Kloosterman AD, Kersbergen P. Efficacy and limits of genotyping low copy number (LCN) DNA samples by multiplex PCR of STR loci. *J Soc Biol*. 2003;197:351-359.
- [22] Butler JM, Shen Y, McCord BR. The development of reduced size STR amplicons as tools for analysis of degraded DNA. *J Forensic Sci*. 2003;48:1054-1064.
- [23] Jensen GA, Singh SK, Kumar R, Wengel J, Jacobsen JP. A comparison of the solution structures of an LNA:DNA duplex and the unmodified DNA:DNA duplex. *J Chem Soc Perkin Trans*. 2001;2:1224-1232.
- [24] Ballantyne KN, van Oorschot RA, Mitchell RJ. Locked nucleic acids in PCR increase sensitivity and performance. *Genomics*. 2008;91:301-305.
- [25] Schmidt U, Lutz-Bonengel S, Weisser H, et al., Low-volume amplification on chemically structured chips using the PowerPlex16 DNA amplification kit. *Int J Legal Med*. 2006;120:42-48.
- [26] Kreader CA. Relief of amplification inhibition in PCR with bovine serum albumin or T4 gene 32 protein. *Appl Environ Microbiol*. 1996.
- [27] Smith PJ, Ballantyne J. Simplified low-copy-number DNA analysis by post-PCR purification. *J Forensic Sci*. 2007;52:820-829.
- [28] Weston AA, Nagel JHA, Benschop CCG, et al., Higher capillary electrophoresis injection settings as an efficient approach to increase the sensitivity of STR typing. *J Forensic Sci*. 2009;54:591-598.
- [29] Bauer M, Kraus A, Patzelt D. Detection of epithelial cells in dried blood stains by reverse transcriptase-polymerase chain reaction. *J Forensic Sci*. 1999;44(6):1232-6.
- [30] Zubakov D, Kokmeijer I, Ralf A, et al., Towards simultaneous individual and tissue identification: A proof-of-principle study on parallel sequencing of STRs, amelogenin, and mRNAs with the Ion Torrent PGM. *Forensic Sci Int Genet*. 2015;17:122-8.
- [31] Mapes AA, Kloosterman AD, Poot CJ, et al., Objective data on DNA success rates can aid the selection process of crime samples for analysis by rapid mobile DNA technologies. *Forensic Sci Int*. 2016;17;264:28-33.
- [32] Thong Z, Phua YH, Loo ES, et al., Evaluation of The RapidHIT™ 200 System: A comparative study Of its performance with Maxwell DNA IQ™/Identifiler Plus/ABI 3500xL workflow. *Forensic Sci Int Genet*. 2015;19:22-7.
- [33] Date-Chong M, Hudlow WR, Buoncristiani MR, Evaluation of the RapidHIT™ 200 and RapidHIT GlobalFiler® Express. Gill P, An assessment of the utility of single nucleotide polymorphisms (SNPs) for forensic purposes. *Int J Legal Med*. 2001;114(4-5):204-10.

L'expertise des accidents routiers au sein du département véhicules de l'IRCGN

Jérémy Sinnaeve^{a,b}, Stéphane Milet^a, Sébastien Leeper^c, Olivier Reynaud^{a,d}, Antoine Devemy^{a,e}, Dr Bruno Espanet^{a,d}

RÉSUMÉ

Les experts de l'IRCGN possèdent une grande expérience dans le traitement forensique des accidents routiers. Que ce soit pour identifier l'auteur d'un délit de fuite ou pour tenter de reconstruire le scénario le plus plausible de l'accident, l'étape déterminante est la collecte des traces. Dans le cas des accidents avec délit de fuite, les traces retrouvées sont essentiellement des débris automobiles, des traces de peinture et parfois des empreintes de pneumatiques. La première étape consiste donc à analyser ces traces, interroger des bases de données et identifier une marque et un type de véhicule avec le plus de détails possibles. Puis, si un véhicule suspect est interpellé, des analyses comparatives sont réalisées afin de définir le niveau d'implication de ce dernier. Les dossiers de reconstruction d'accident sont quant à eux éminemment transverses et le maître d'œuvre est l'expert en analyse d'accident. Il s'appuiera sur toutes les compétences de l'IRCGN pour exploiter l'ensemble des traces recueillies sur la scène d'accident. Analyse de peinture pour définir les différentes interactions entre les véhicules ou le mobilier urbain, exploitation des filaments d'ampoule pour connaître l'état des systèmes d'éclairage du véhicule au moment des faits, exploitation des données numériques embarquées sont autant d'exemples des spécialités mises en œuvre pour que l'expert puisse s'appuyer sur les éléments factuels. À partir de là il pourra alors proposer un scénario d'accident qui induira le choix d'un modèle mathématique bien précis pour déterminer les paramètres dynamiques du ou des véhicule(s) impliqué(s).

Criminalistique - délit de fuite - peinture - pneumatique - reconstruction accident.

1. Introduction

Créé aux premiers temps de l'IRCGN, le département Véhicules est unique en Europe. En effet, ses concepteurs ont très tôt compris l'intérêt de mettre le véhicule au centre des investigations et de créer des synergies au sein des trois unités qui le composent et qui traitent de domaines variés tels que la chimie, l'électronique, et la mécanique... Néanmoins, la complexité actuelle des véhicules et les progrès permanents qui animent son industrie, obligent

Institut de recherche criminelle de la gendarmerie nationale (IRCGN)

5 Boulevard de l'Hautil, 95000 Pontoise

a Département Véhicules

b Unité d'expertise Accidentologie

c Département Micro analyse

d Unité d'expertise identification mécanique

e Unité d'expertise identification chimique

Correspondance

jeremy.sinnaeve@gendarmerie.interieur.gouv.fr

article reçu le 30 août 2016, accepté le 30 septembre 2016.

© 2016 – Elsevier Masson SAS – Tous droits réservés.

SUMMARY

The IRCGN Vehicle department experience in car accident resolution

The IRCGN experts have a great experience in car accident resolution. Whether the aim of the expertise is to identify a hit and run accident instigator, or to propose the most likely accident scenario, the most important stage of the study lies in the trace sampling.

In hit and run cases, forensic traces are often car pieces, paint smears, and sometimes tire marks. The first step of a car accident resolution is to analyse these traces by querying the databases in order to identify a brand and a type of vehicle, as well as some more useful details. Then, in case a suspect vehicle is caught, complementary analysis have to be undertaken to determine its responsibility for the accident.

Most of the time, accident reconstruction is a transverse activity which involves different fields of forensic sciences. For instance, paint analysis establishing or not an interaction between several vehicles or street furniture, light bulbs analysis telling whether they were on or off when the accident occurred, onboard numerical data revealing the driver's last actions on the car, and so on. The accident expert oversees them all and has to interpret his colleagues' results to get factual parameters. By doing so, he is then able to propose a mathematical model to determine vehicles dynamic parameters at the time of the accident.

Forensic - hit and run - paint - tyre - car crash reconstruction.

le département à élargir ses collaborations avec d'autres départements de l'IRCGN ou avec des acteurs externes, qu'ils soient industriels ou institutionnels.

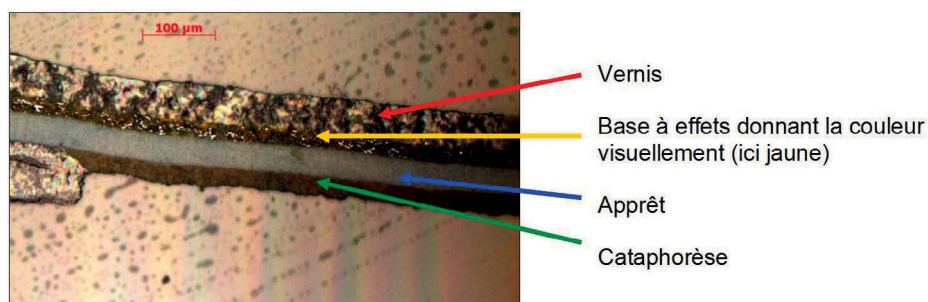
Une des thématiques traitées par le département Véhicules est les accidents routiers. Dans ce domaine, deux types de missions incombent au département ; l'identification de véhicule auteur d'un accident avec délit de fuite et la reconstruction d'accident.

2. Accident avec délit de fuite : identification du véhicule auteur

Chaque année, la France recense environ 2500 cas d'accidents corporels avec délit de fuite⁽¹⁾. Pour tenter de résoudre ces affaires, le département Véhicules a développé des stratégies

1. Source Fonds de Garantie des Assurances Obligatoires de dommages (FGAO)

Figure 1 – Identification des peintures automobiles.



© IRCGN

spécifiques selon la nature des traces à analyser. La résolution de ce type d'affaire peut se faire en deux temps ; le premier est celui de l'orientation d'enquête qui vise à fournir une piste de recherche la plus précise possible à l'enquêteur et le second celui de l'identification formelle qui vise à corréler les indices avec un véhicule suspect.

2.1. L'orientation d'enquête

Différentes traces peuvent subsister après un accident routier avec délit de fuite et chacune d'entre elles présente un potentiel intéressant pour l'identification du véhicule auteur.

2.1.1. Identification des peintures automobiles

Depuis plus de 15 ans, et dans le cadre de l'*European Network Forensic Science*, une coopération s'est instaurée entre les différents laboratoires de criminalistique européens pour construire une base de données de peintures automobiles. À l'initiative du BKA allemand, cette base, dénommée EUCAP[1] (*European Collection of Automotive Paint*), comporte aujourd'hui plus de 13 000 échantillons et contient des milliers de spectres infrarouges obtenus à partir de l'analyse des différentes couches (figure 1) du système

de peinture du véhicule. Chacune des couches est un mélange complexe de plusieurs constituants ; un liant, des additifs, des pigments et des matières de charge. Ces derniers sont analysés par spectrométrie infra-rouge [2] (banc couplé à un microscope). Les spectres obtenus pour chacune des couches font ensuite l'objet de recherches en base de données à l'aide du logiciel KnowItAll (Bio-Rad). Dans le meilleur des cas, d'identifier une marque, un modèle, une teinte commerciale, un lieu et une période de production pourront être déterminés.

L'intérêt de cette méthode est de fournir à l'expert une technique d'analyse rapide, non destructive et qui permet de travailler sur des échantillons à l'échelle microscopique. Concernant des échantillons macroscopiques il est aussi possible de travailler directement sur le rendu couleur de la pièce, soit par une comparaison visuelle avec des nuanciers papiers soit à l'aide d'un spectrophotomètre qui « mesurera » la couleur afin de la corréler avec une base de données commerciale. Ce dernier cas nécessite que la trace soit un débris plat d'une surface suffisante aussi il n'est qu'exceptionnellement rencontré.

2.1.2. Identification des débris

Il est fréquent de retrouver sur une scène d'accident avec délit de fuite, des débris d'optique, de rétroviseur, de pare-chocs ou autres, du véhicule auteur. L'identification de ces débris repose sur deux approches : la consultation de fichiers à partir de références, complètes ou partielles, de pièces éventuellement présentes et l'étude morphologique. Pour ce faire le département gère une base de données d'identifiants d'optiques et une autre d'identifiants de rétroviseurs. La consultation de ces bases permet de cibler immédiatement une marque et un (ou plusieurs) modèle(s) de véhicule(s). Pour les autres pièces, un réseau de professionnels construit depuis plusieurs est sollicité ou des recherches sur des sites spécialisés en vente de pièces détachées sont entreprises.

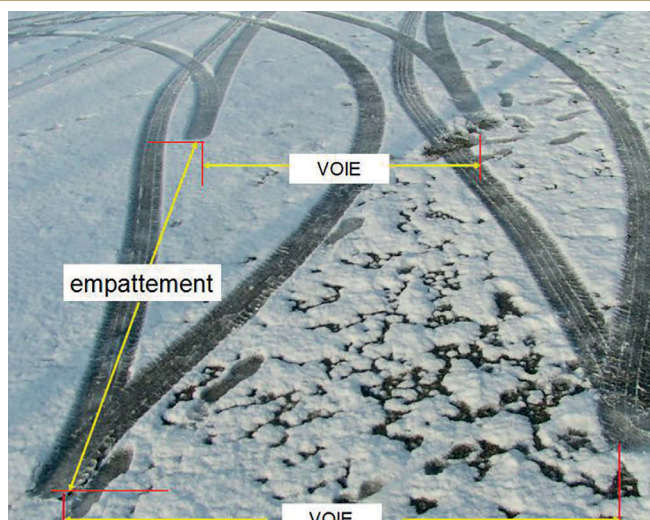
Quand les débris ne comportent pas de référence, une recherche morphologique est effectuée, principalement basée sur la mémoire photographique des experts. Elle s'appuie sur la collection de références d'optiques du département, sur des visites dans les casses automobiles ou les grands parkings ou encore sur des recherches sur Internet.

Enfin, l'éventuelle présence d'éléments dateurs sur les pièces nous permet de déterminer une période probable de fabrication du véhicule.

2.1.3. Identification des traces de pneumatiques

Sur un accident il peut arriver que tout ou partie du train roulant du véhicule sorte de la chaussée auquel cas il pourra laisser sur le sol meuble (sable, terre, neige...) une empreinte de bande de roulement et/ou un système de traces de pneumatiques (figure 2) qui représente son train roulant. Ces traces [3] vont permettre de caractériser le véhicule fuyard.

Figure 2 – Identification d'un système de traces de pneumatiques sur la neige.



© IRCGN

2.1.3.1. Identification des empreintes de pneumatiques

L'examen de l'empreinte de la bande de roulement du pneumatique permet de déterminer ses caractéristiques morphologiques et dimensionnelles (figure 3). À partir de ces éléments, le technicien interroge une base développée en interne qui l'aidera à identifier la marque et le type de pneumatique à l'origine de cette trace. S'en suit une recherche dans la documentation des manufacturiers pour dresser une liste de véhicules équipés en sortie d'usine de ce modèle de pneumatique. Cette liste n'est intéressante que dans le cas d'un pneumatique « atypique », dans le cas contraire elle renvoie sur un nombre de véhicules beaucoup trop important pour pouvoir être exploité.

Cette base de données comporte à ce jour près de 2 500 profils de pneumatiques faisant d'elle sûrement l'une des bases les plus complètes existantes.

2.1.3.2. Identification d'un système de trace

Les différentes mesures concernant le système de traces sont l'empattement, la largeur des voies avant et/ou arrière, la largeur de la bande de roulement et le rayon de braquage. Ces mesures servent de critères de recherche dans une base de données qui fournira alors la liste des modèles de véhicules compatibles. Cette base, développée en interne, est alimentée à partir des données fournies par l'UTAC (Union Technique de l'Automobile, du motocycle et du Cycle) qui est l'organisme français en charge de l'homologation des véhicules. À ce jour, plus de 17 millions de véhicules sont inscrits dans cette base. Bien entendu, quand elles existent, les deux listes obtenues précédemment sont croisées pour n'en faire plus qu'une et il arrive que la liste finale soit très restreinte et ne comporte parfois même qu'un seul type de véhicule.

2.1.4. Recherche dans les fichiers

À partir des éléments obtenus précédemment, les techniciens vont construire une liste de véhicules suspects sur une zone géographique définie par l'enquêteur. Cette liste est réalisée :

- soit à partir des bases de données constructeur,
- soit par l'intervention d'un intermédiaire,
- soit à partir du Système d'Immatriculation des Véhicules (S.I.V).

Dans ce dernier cas il est préférable de travailler à partir d'un numéro de série partiel, caractéristique du type de véhicule recherché. Le requérant reçoit alors un tableur recensant les adresses des véhicules répondant aux critères définis par les analyses.

2.2. L'identification formelle

Si l'enquêteur retrouve un véhicule suspect, certains indices pourront conduire à une identification formelle du véhicule auteur.

Figure 3 – Identification des caractéristiques du pneumatique par examen de l'empreinte de la bande de roulement.



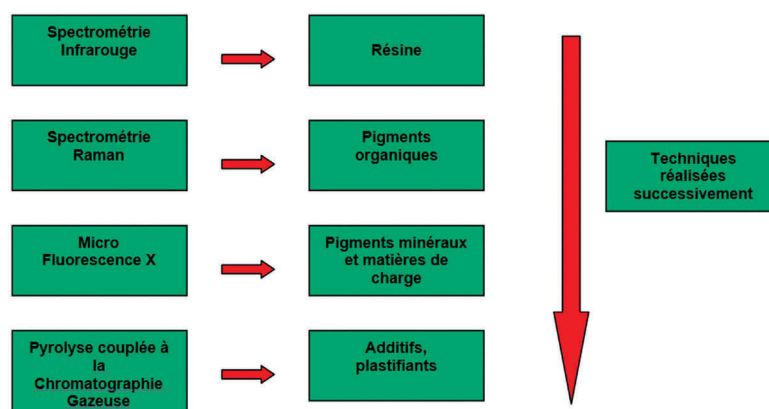
© IRCGN

2.2.1. Comparaison de la peinture

Après prélèvement d'un ou plusieurs échantillons de peinture témoins sur le véhicule suspect, plusieurs techniques d'analyses physico-chimiques [4] sont mises en œuvre afin de confirmer ou infirmer l'hypothèse selon laquelle ce véhicule serait plausiblement l'auteur des faits.

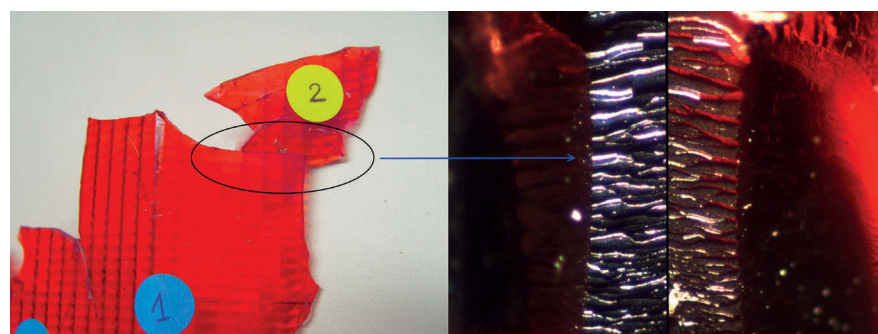
Nous avons vu dans le paragraphe 2.1.1. relatif à l'identification de peinture de véhicules, que la spectrométrie infrarouge est une technique de choix pour analyser la résine des peintures et réaliser des bases de données. Dans le cadre de comparaisons, les analyses seront plus diversifiées afin de caractériser également les autres constituants des peintures, tels que pigments organiques et minéraux, les matières de charges, les additifs, les plastifiants etc. Les experts suivent alors une stratégie accréditée par le COFRAC (COMITÉ FRANÇAIS D'ACCREDITATION) (figure 4).

Figure 4 – Stratégie analytique dans le cadre d'une comparaison de peintures.



© IRCGN

Figure 5 – Preuve par assemblage et comparaison de stries de cassures.



© IRCGN

Dès qu'une technique permet de différencier deux échantillons, le processus est stoppé. En utilisant l'ensemble du parc analytique à notre disposition sur chacune des quatre couches constituant un système de peinture complet, nous avons évalué que le pouvoir discriminant de la méthode était supérieur à 99 %.

Au final le technicien discriminera le véhicule (peinture chimiquement différente) ou confirmera que ce dernier peut être à l'origine des traces sans pouvoir l'identifier formellement

2.2.2. Identification individuelle des débris

Si des pièces cassées, similaires aux débris retrouvés sur la scène d'accident, sont retrouvées sur le véhicule alors elles seront saisies et transmises au département. Le technicien devra tout d'abord tenter de reconstruire le « puzzle » ; c'est la preuve par assemblage. Il confirmera ce résultat par une comparaison des stries de cassures observées sur la tranche commune de deux débris assemblés (figure 5).

2.2.3. Identification individuelle des traces de pneumatiques

Afin d'établir un lien criminel entre la trace de pneumatique et un pneumatique appartenant au véhicule suspect, il conviendra, nécessairement, d'utiliser un moulage de la trace de question.

La bande de roulement des pneumatiques suspects est recouverte d'encre, puis ces derniers sont déroulés sur une longue bande de papier. À partir de là le technicien peut alors

comparer les traces deux à deux. Cette comparaison porte sur la présence de défauts caractéristiques (arrachement de gomme, coupure...) et sur la distance qui sépare ces défauts. Si les constatations faites sur le moulage sont identiques à celles faites sur le déroulé encré alors il est possible de conclure que ce pneumatique est à l'origine de cette trace.

Dans tous les cas, l'étape prédominante est celle de la collecte des traces. Elle doit être exhaustive, réalisée suivant un protocole bien spécifique et les éléments doivent être transmis très rapidement au département Véhicules pour analyse. Il convient aussi d'observer qu'à partir du moment où l'infraction a été commise, chaque heure qui passe augmente le risque de ne pas retrouver le véhicule auteur des faits

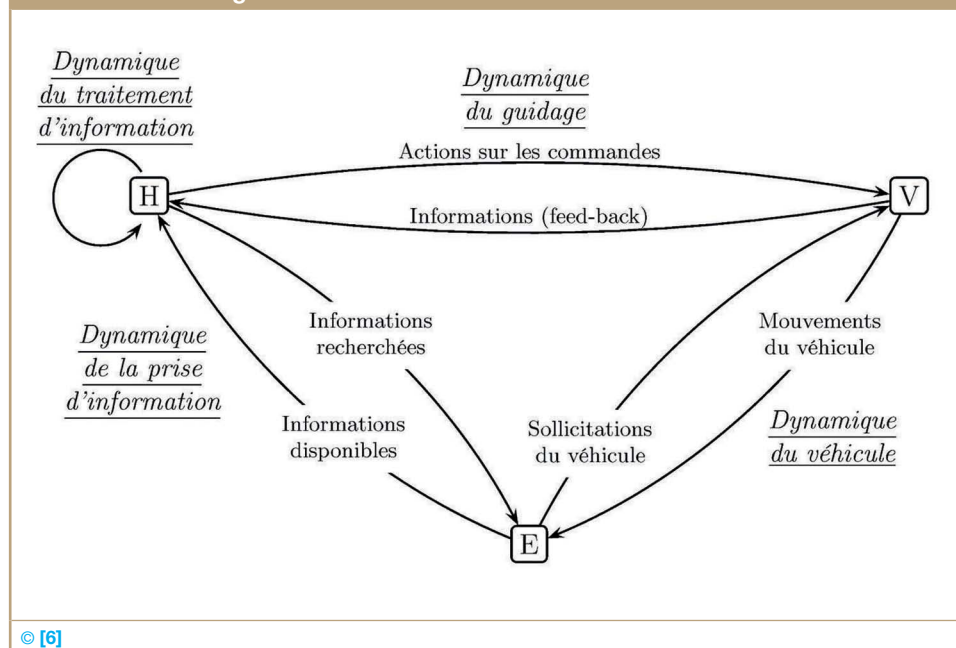
3. Reconstruction cinématique d'accidents routiers

Sur le plan forensique, le terme « accident » utilisé dans l'article est différent du sens qui lui est usuellement accordé,

à savoir : « un événement fortuit, imprévisible », ou « fâcheux, malheureux » voire encore « un événement imprévu et soudain qui entraîne des dégâts, des dangers ». Ici l'accident est considéré comme un phénomène réel dont les conditions de survies peuvent être rationnellement et objectivement expliquées. Cette approche[6] consiste en premier lieu à modéliser la circulation routière sous la forme de systèmes élémentaires constitués trois composants (figure 6) :

- l'homme, symbolisé par la lettre {H} (e.g. usager de la route, conducteur de véhicule, cycliste, etc.);

Figure 6 – Modélisation de la circulation routière.



© [6]

- le véhicule symbolisé par la lettre {V} (e.g. un véhicule léger, un poids lourd, un bus, un engin de chantier etc.);
- l'environnement symbolisé par la lettre {E} (e.g. conditions d'infrastructure routière, conditions climatiques, les autres {H, V, E}, etc.).

À noter que l'élément {H} a la particularité d'être à la fois un composant et le régulateur du système. L'analyse d'un accident consiste notamment en l'analyse des interactions deux à deux de ce triptyque et en l'identification des dysfonctionnements en termes de défaillance des composants et/ou des fonctions d'adaptation de l'élément {H} qui ajuste sa conduite.

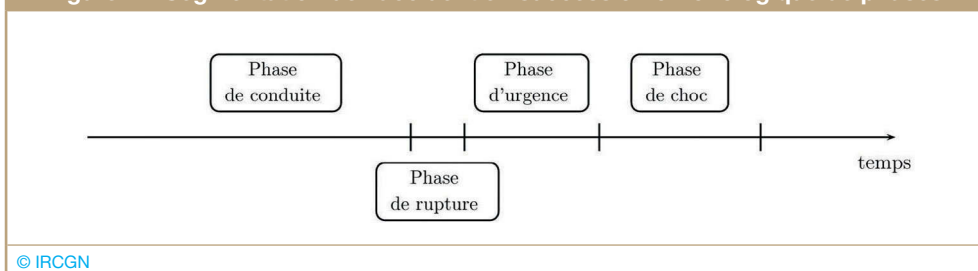
À l'instar de l'approche orientée « recherche » telle que pratiquée par le département Mécanisme d'Accidents (MA) de l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR), nous utilisons dans notre approche forensique :

- un modèle séquentiel de façon à segmenter l'accident en succession chronologique de phases présentant une continuité en termes d'enchaînement spatio-temporel et une logique causale dans le passage d'une phase à l'autre (figure 7);
- un modèle de reconstruction cinématique consistant notamment à représenter certaines phases spatio-temporelles identifiées lors de la définition de la séquence d'accident à l'aide d'une formalisation mécanique théorique.

3.1. Prise en compte de la scène

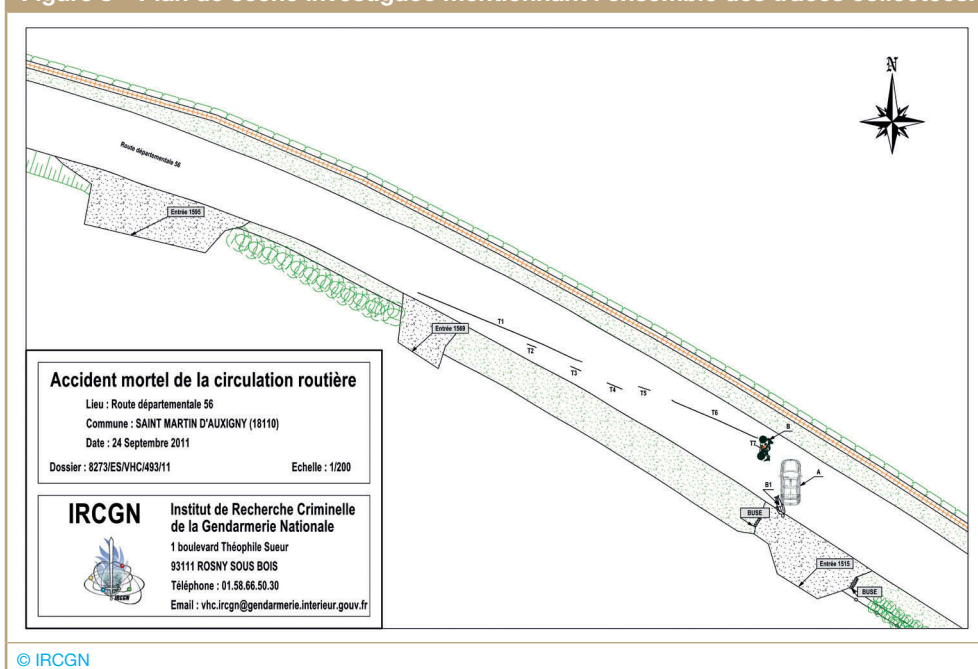
La prise en compte de la scène est une étape cruciale qui conditionne de façon fondamentale les résultats en ce qui concerne la reconstruction de tout ou partie des faits que ce soit en termes de cinématique ou encore de scénario le plus probable. En effet, il convient de noter que c'est l'exploitation de l'ensemble de ces données qui déterminera les indices et les jeux d'hypothèses permettant de définir la séquence d'accident i.e. son déroulé dans le temps. Cette étape consiste en une fixation de l'état des lieux au cours de laquelle chaque trace criminalistique est relevée avec précision sur la scène. Chaque centimètre carré de la zone d'investigation est exploré notamment en faisant des vagues de ratissage. Ainsi un débris, une chaussure, une trace de freinage, des pièces automobiles arrachées, etc. sont pris en compte de façon exhaustive dans le dessein d'avoir une vue complète de la scène dans les instants succédant les faits.

Figure 7 – Segmentation de l'accident en succession chronologique de phases.



© IRCGN

Figure 8 – Plan de scène investiguée mentionnant l'ensemble des traces collectées.



© IRCGN

Selon la configuration, les variations altimétriques, et les distances à mesurer sur la scène à investiguer, sont utilisés différents matériels :

- de topographie avancée (GNSS et tachéomètre) ;
- de lasergrammétrie (Scanner laser FARO) ;
- et des moyens aériens (drone) avec lesquels nous obtenons des photographies traitées ensuite avec des outils photogrammétriques.

Ces matériels nous permettent d'obtenir une précision allant du millimètre à quelques centimètres.

La dite prise en compte d'un accident routier peut être réalisée *in situ* dans le temps des faits ou *a posteriori* lors d'un transport sur les lieux.

À partir des mesures prises avec les instruments référencés supra, et après leur post-traitement, nous réalisons des plans des scènes investiguées sur lesquelles l'ensemble des traces collectées est présent (figure 8).

Pour réaliser la mission de prise en compte complète et criminalistique d'une scène d'accident routier, il convient notamment de :

- (i) Circonscrire la scène d'accident et les trajets d'approche des systèmes élémentaires (Humain, Véhicules, Environnements) impliqués ;

(ii) Recueillir des données :

- Matérielles :

- Traces matérielles et perceptibles liées à la présence ou aux interactions des différents composants H, V et E de chacun des systèmes élémentaires ayant à voir avec les faits (e.g. position d'arrêt d'un véhicule dans une scène d'accident, l'écrasement résiduel d'un véhicule faisant suite à un choc,...),
- Facteurs propres aux composants V (e.g. état du circuit de freinage d'un véhicule) et H (e.g. un taux d'alcoolémie),
- Facteurs d'environnement (e.g. conditions climatiques, type de revêtement de la chaussée, pentes et dévers de la chaussée...).

- Immatérielles : déclarations de témoins, des impliqués directs, des ayants à voir ;

(iii) Exploiter les traces et les facteurs pour en faire des indices ;

(iv) Poser des hypothèses de travail (un ou plusieurs jeux) à partir des indices, des facteurs, des circonstances, voire des éléments de déclaration ;

3.2. Exploitation des traces

3.2.1. Comparaison de peintures et de polymères

En vue de la reconstitution cinématique d'accidents routiers complexes, il peut être déterminant de matérialiser un contact entre un ou plusieurs véhicules par l'analyse physico-chimique des peintures et polymères qui les recouvrent. Dans la mesure où les systèmes de peintures apposés sur un même véhicule peuvent être très disparates en fonction du support, c'est-à-dire visuellement identiques mais chimiquement différents sur le capot et sur une aile par exemple, il est souvent possible de déterminer quelles parties de véhicule ont pu entrer en contact les unes avec les autres.

Après prélèvement des transferts de matière observés (*figure 9*), plusieurs techniques d'analyses physico-chimiques sont mises en œuvre afin de rapprocher les

traces ou éclats de peinture au véhicule pouvant les avoir laissées. On applique alors la même stratégie que celle décrite au paragraphe 2.2.1.

3.2.2. Analyse des ampoules

Lors d'un accident de la circulation routière survenant de nuit, par faible visibilité ou même de jour, il est important de vérifier si les véhicules impliqués étaient visibles ou non. Les feux de route, de croisement, de stop et les indicateurs de changement de direction (clignotants) constituent souvent des indices fondamentaux dans l'analyse d'un accident. Il importe alors de déterminer si les feux étaient allumés ou éteints. Cet examen peut être entrepris sur tout type de lampes à incandescence équipant les véhicules terrestres. De part leur technologie et leur conception, ce type d'examen par les techniques actuelles appliquées sur les lampes à incandescence n'est pas réalisable sur les nouvelles lampes de types à décharge (xénon), à arc ou les diodes électroluminescentes (LED).

Le but de l'examen consiste à déterminer l'état de fonctionnement (allumée ou éteinte) de la lampe au moment d'un événement extraordinaire (accident) ce qui peut s'avérer essentiel dans la détermination des responsabilités des accidentés.

Pour rappel, la fonction de l'éclairage et de la signalisation en automobile est d'améliorer la vision du conducteur ainsi que la signalisation du véhicule, dans ses changements de direction ou d'allure, quelles que soient les conditions climatiques. Tout véhicule empruntant les voies ouvertes à la circulation doit être correctement éclairé et signalé. En effet, l'éclairage des véhicules doit se conformer aux exigences du Code de la Route, aux décrets et arrêtés pris pour leur application.

Pour déterminer l'état de fonctionnement d'une lampe lors d'un accident, le simple examen de la position on/off de l'éclairage au niveau du tableau de bord peut se révéler insuffisant et être faussé par l'intervention d'un tiers pendant (mouvement du conducteur lors de l'impact) ou après l'événement survenu (secours, modifications de la scène pour dissimulation d'indices, etc.). De plus, il est

Figure 9 – Exploitation des traces de transfert de matière, présentes sur un véhicule accidenté.



© IRCGN

fréquent, et particulièrement pour les deux roues, que plusieurs chocs secondaires se produisent à la suite du choc principal ayant provoqué la décélération : dégagement de l'épave, l'extraction de la lampe du bloc optique, etc. Les lampes transforment l'électricité en lumière en portant à incandescence par effet joule un filament de tungstène. Le tungstène appartient à une famille d'éléments dont le comportement physique change à partir d'une certaine température dite de transition. Cette transition se produit entre 200 et 400 °C :

- en dessous de cette température de transition, il est cassant comme du verre, nous parlons de comportement fragile,
- au-dessus de cette température de transition, il peut s'allonger sans se rompre, nous parlons de comportement ductile.

Sa température de fusion est de 3410 °C. Dans le cas d'une lampe type « code européen », le filament est porté à une température de 2500 °C lorsque la lampe est en fonctionnement.

Dans le cas d'un feu clignotant, la fréquence d'intermittence fait que son filament n'a pas le temps de voir sa température chuter suffisamment au cours de son fonctionnement. Son comportement et donc son étude sont identiques à une lampe classique qui resterait sous tension.

Ainsi, en fonction de l'état de fonctionnement d'une lampe (allumée ou éteinte) lors d'un choc, des phénomènes caractéristiques vont pouvoir être observés directement sur le filament [5] (déformation, désérialisation, fracture, oxydation, etc.). Et ce, même si la lampe n'est pas directement percutée par un élément extérieur car la décélération subie lors d'un accident impose des contraintes mécaniques telles que le filament peut s'étirer ou se rompre de lui-même.

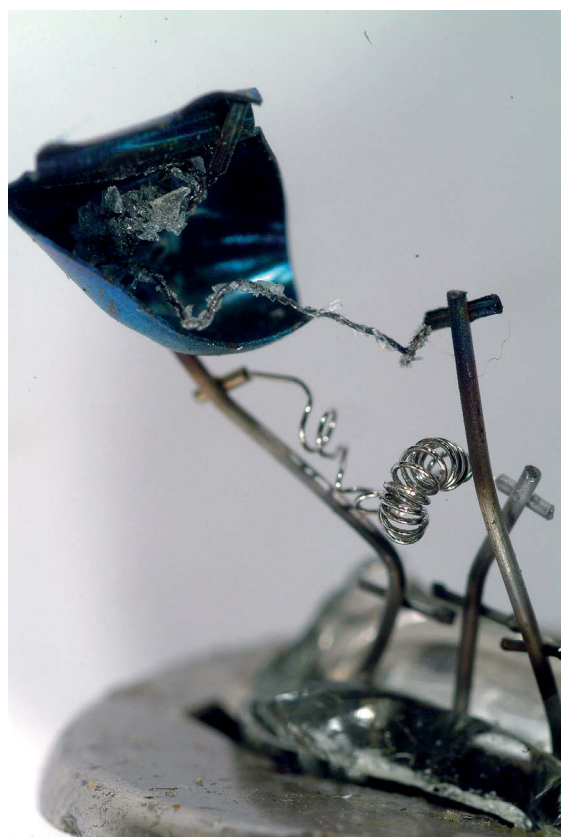
L'idéal pour effectuer les examens est d'exploiter les lampes les plus proches du point d'impact. En effet, plus l'on s'éloigne du point d'impact, plus les énergies absorbées par les déformations de l'ensemble du véhicule, n'affecteront pas ou très peu les filaments des lampes. Cependant, si les lampes situées au point d'impact sont complètement détruites, il peut être intéressant d'examiner les autres lampes présentes sur le véhicule.

Après avoir vérifié l'homologation de la lampe, le technicien va observer la lampe et en particulier l'état du lobe de verre (intact ou non) et du filament (entier, cassé ou déformé).

En effet, le filament de tungstène a un comportement ductile au-dessus d'une température dite de transition. Il peut ainsi s'allonger sans se rompre tout en laissant apparaître des étirements voire une désérialisation. La déformation du filament accompagnée d'une désérialisation indique qu'il était incandescent au moment d'un choc (**figure 10**).

Dans le cas où le lobe de verre est cassé, il est possible d'observer un phénomène d'irisation provoqué par l'oxydation avec un dégradé de couleurs (de doré à bleu). Le tungstène possède la propriété de s'oxyder au-dessus de 600 °C et lorsque l'ampoule protectrice en verre se casse, le dioxygène de l'air réagit avec le filament uniquement à chaud (i.e. au-dessus de 600 °C). En surface, le tungstène se transforme alors en oxyde de tungstène et cette oxydation fait apparaître des couleurs de recuit en plusieurs nuances, ainsi que des dépôts pulvérulents d'une teinte blanche à jaune.

Figure 10 – Déformation et irisation du filament avec présence de particules de verre.



© IRCGN

Dans le cas où le filament est cassé, les faciès de rupture seront examinés en vue de déterminer leur morphologie par microscopie électronique à balayage :

- en se cassant «à froid» (i.e. à température ambiante), le filament présente des fractures nettes et tranchantes, donc de **type fragile** ;
- en se cassant «à chaud» (i.e. porté à sa température de fonctionnement), il présente soit une fracture étirée et fibreuse soit une fracture montrant des signes de fusion à faciès lissé, en pointe ou arrondi, ou encore une fracture globulaire en fin de vie. Nous parlons alors de **fracture ductile**.

Si l'ampoule protectrice en verre se brise lors d'un choc mécanique, des éclats de verre peuvent venir au contact du filament et des parties métalliques telles que la coupelle ou les montants supports. S'ils sont incandescents ou chauds, les éclats de verre subiront une fusion totale ou partielle et resteront collés. Pour pouvoir affirmer que les particules visibles correspondent à du verre, il est procédé à une analyse chimique élémentaire pour rechercher la présence de silicium et d'oxygène (SiO_2).

Le principe de l'examen consiste donc à observer et à rechercher des éléments caractéristiques présents sur la lampe et en particulier sur son filament puis de les interpréter tout en tenant compte des circonstances de l'événement extraordinaire subi par la lampe à incandescence et des circonstances de l'accident.

Chaque phénomène physique produit sur la lampe à incandescence est observé à l'œil nu, au microscope stéréoscopique ou au microscope électronique à balayage couplé à un spectromètre à dispersion d'énergie. À cet effet, il est important de prendre en compte la fonction de la lampe, le point d'impact, la violence du choc, les éventuels chocs secondaires (tonneaux, ripage,...), le lieu de stockage du véhicule, le lieu de découverte de la lampe... Ces éléments permettent aux techniciens de pouvoir interpréter les observations effectuées en fonction des informations liées à l'accident. Les résultats s'expriment sous trois formes :

- la lampe était en fonctionnement lors de l'accident
- la lampe n'était pas en fonctionnement lors de l'accident
- l'absence d'éléments caractéristiques suffisants et/ou complémentaires ne permet pas de se prononcer sur l'état de fonctionnement de la lampe au moment de l'accident

3.2.3. Extractions de données numériques

Dans certains cas, les démarches de reconstruction cinématique peuvent être complétées en exploitant les informations des systèmes embarqués et plus particulièrement celles des calculateurs :

En ce qui concerne le calculateur d'airbag :

Le calculateur de gestion d'airbag, généralement placé au centre du véhicule dans l'habitacle, assure notamment les fonctions de détection des chocs (frontal, latéral et arrière), et de déclenchement des éléments pyrotechniques de sécurité du véhicule. Ce calculateur reçoit ainsi des informations de différents capteurs (internes ou déportés sur le véhicule). Lors du choc, des données relatives à la dynamique et à l'environnement du véhicule, appelées télégramme de crash, sont enregistrées dans la mémoire du calculateur. Celui-ci contient des informations ayant trait notamment à la détection de collision, au temps de déclenchement des équipements et également aux paramètres d'environnement comme la vitesse du véhicule au moment de la collision, voire dans la phase de pré-collision. Par ailleurs, les accéléromètres connectés au calculateur de question fournissent l'accélération et la variation de vitesse subie par le véhicule durant le temps de la collision. Il ne s'agit pas d'une « boîte noire » au sens strict d'un enregistreur de données : seulement certaines informations utiles à l'équipementier ou au constructeur sont enregistrées.

Il convient de noter que ces informations ne peuvent pas être utilisées directement après extraction. Elles doivent faire l'objet d'une interprétation par un spécialiste toujours dans le contexte de l'accident.

Certains calculateurs d'airbag possèdent la fonction EDR (*Event Data Recorder*). Rendu obligatoire aux États-Unis depuis 2012 par la NHTSA (*National Highway Traffic Safety Administration*), les EDR sont présents dans tous les véhicules neufs destinés au marché américain. Sur le parc Européen, environ 10 à 15 % de ces véhicules en sont équipés. Sorte de « boîte noire », un EDR est en réalité une fonctionnalité implémentée dans le calculateur de gestion d'airbag ACU (*Airbag Control Unit*) qui enregistre en continu un certain nombre d'informations provenant de capteurs pouvant être ensuite exploitées après un accident par un expert ou un représentant de la loi. Des paramètres tels que la vitesse, le régime moteur, la position de la pédale d'accélérateur ou

de frein, l'angle au volant, sont enregistrés depuis l'instant $t = -5$ s avant la collision jusqu'à l'instant $t = 0$ s correspondant à la collision. À noter aussi que l'EDR peut enregistrer plusieurs événements permettant *de facto* l'analyse des collisions à faits multiples.

En ce qui concerne l'exploitation des codes défauts d'un véhicule :

Les calculateurs d'un véhicule automobile enregistrent les anomalies de fonctionnement DTC (*Data Trouble Codes*) survenant lors de sa conduite. Lors d'un accident routier, des DTC peuvent être ainsi enregistrées dans un ou plusieurs calculateurs. En plus du ou des défauts apparus, les paramètres ou conditions de service, appelés données environnantes du défaut (*freeze frame data* encore appelées *données gelées*), peuvent être enregistrés. Ces données s'effaceront en même temps que le code défaut aura disparu suite par exemple à une réparation.

Nous donnons ci-après à titre d'exemple quelques données pouvant être mémorisées :

- la vitesse du véhicule,
- le régime moteur,
- la température du liquide de refroidissement,
- la température d'admission d'air,
- tension d'alimentation,
- etc.

Il n'existe pas de réglementation quant à l'intégration de telles données dans un calculateur. Les *freeze frames* sont préconfigurées selon des paramètres personnalisés définis par le constructeur pour l'identification de pannes. Ces données sont différentes d'un constructeur à l'autre. Elles peuvent être intéressantes mais il est difficile de situer l'apparition d'une panne au moment de l'accident en raison, bien souvent, de l'absence d'horodatage.

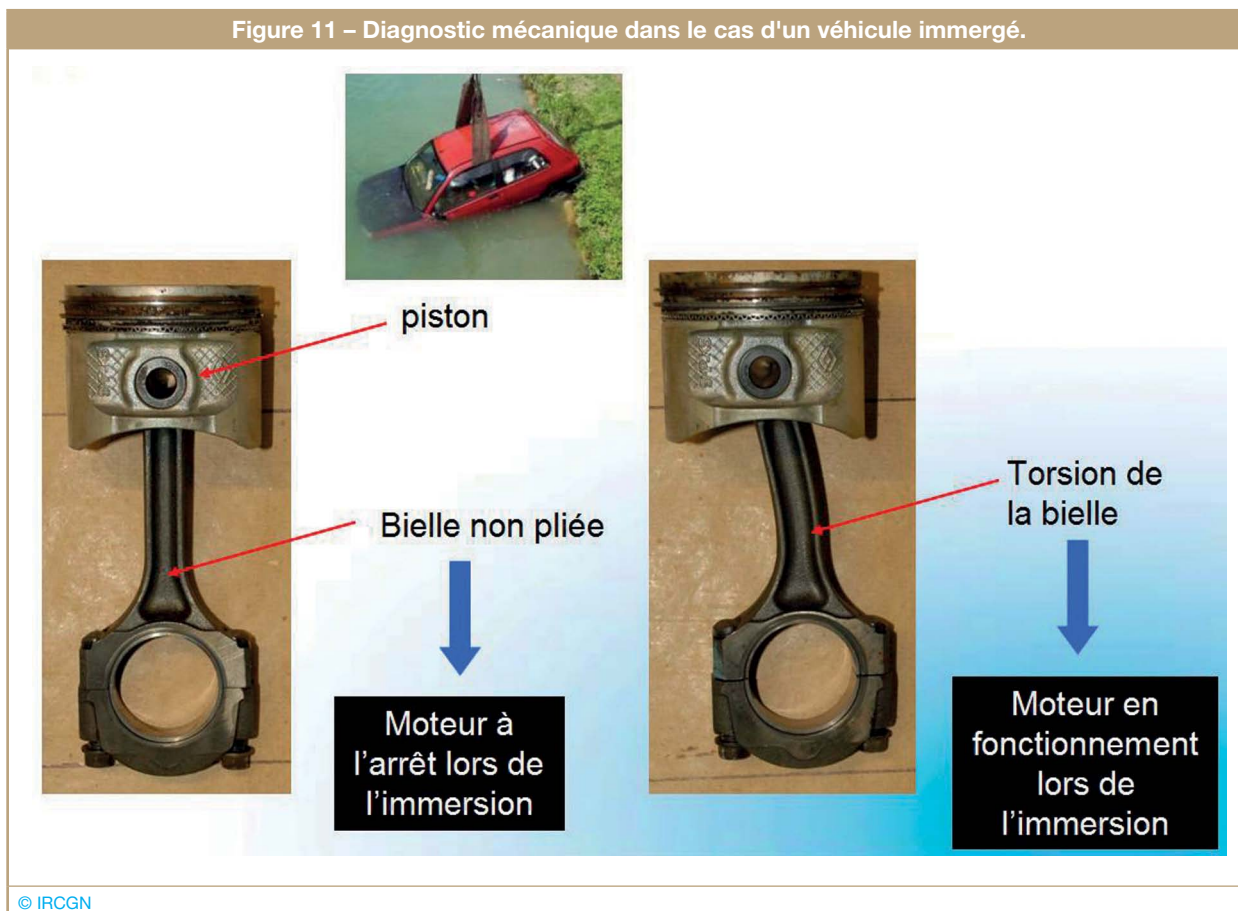
L'exploitation des données d'un chronotachygraphe numérique

Le chronotachygraphe numérique, imposé réglementairement depuis 2006 sur les véhicules de transports routiers de marchandises ou de passagers, est un système électronique complet destiné à contrôler le respect de la législation par les conducteurs.

À ce titre, l'appareil de contrôle (appelé Unité Embarquée sur le Véhicule), mémorise diverses données propres à l'utilisation de l'appareil, l'activité du conducteur, et, concernant les données intéressantes pour l'accidentologie, la vitesse instantanée du véhicule, la date et l'heure correspondante à chaque seconde des 24 heures précédentes durant lesquelles le véhicule était en mouvement.

Dans le cadre d'un accident routier impliquant un véhicule équipé, le but sera donc d'extraire ces données mémorisées dans le chronotachygraphe. Tout agent de contrôle en possession d'une carte dite carte de contrôleur peut avoir accès à des données stockées dans le chronotachygraphe. Enfin, d'autres calculateurs peuvent également apporter dans certains cas des informations intéressantes à l'accidentologie comme les GPS embarqués. Certains systèmes vont enregistrer dans leur mémoire le trajet du véhicule. Lors d'un accident, ce trajet mémorisé va ainsi conserver des informations de position (coordonnées GPS), d'horodatage et éventuellement de vitesse.

Figure 11 – Diagnostic mécanique dans le cas d'un véhicule immergé.



3.2.4. Diagnostic mécanique

La finalité du diagnostic mécanique est de déterminer, dans le cadre d'un accident routier, l'absence ou la présence de dysfonctionnements d'un ou plusieurs véhicules impliqués. Pour ce faire, le technicien en diagnostic mécanique est amené à examiner, selon le spectre du diagnostic demandé, les systèmes suivants :

- le moteur et ses circuits ;
- les organes de transmission et de distribution ;
- les organes de roulement ;
- les organes d'utilisation ;
- les équipements spécifiques d'utilisation (e.g. pour des engins) ;
- les organes de sécurité ;
- les systèmes embarqués.

Pour chaque système investigué, le technicien vérifie de façon systématique :

- la présence ;
- l'homologation ;
- l'état ;
- le réglage de chaque élément composant le système à vérifier ;
- la capacité du système à répondre aux exigences imposées par sa fonction.

À noter aussi la mission de diagnostic mécanique telle que pratiquée par les techniciens à l'IRCGN englobe également le diagnostic électronique pour lequel nous disposons d'outils multimarques permettant de circonscrire le

dysfonctionnement de certain défaut notamment *via* la lecture de certain code défaut et/ou données gelées (*freeze frame*). Avant tout diagnostic, lorsque l'état du véhicule le permet et si la saisine judiciaire le justifie, un contrôle technique du véhicule expertisé est réalisé ceci afin d'avoir une « vue » globale de l'état du véhicule et plus particulièrement sur :

- la répartition du freinage ;
- l'état des suspensions...

Dans certains cas, un diagnostic mécanique pratiqué sur un véhicule peut donner des renseignements utiles afin de qualifier les faits. C'est le cas par exemple lorsque le véhicule est retrouvé immergé dans un point d'eau avec des tiers à l'intérieur. La question qui est naturellement évoquée est de savoir s'il s'agit d'un accident, d'un suicide ou d'un acte criminel. Le diagnostic peut dans ce cas de figure particulier orienter l'enquête et donner des éléments précieux quant au fonctionnement du moteur lorsque celui-ci est entré dans l'eau. Pour cela les techniciens déposent le moteur du véhicule de question et observent plus particulièrement les couples piston/bielle. En règle générale :

- lorsque le véhicule entre dans l'eau avec le moteur à l'arrêt, les bielles sont intactes et on peut s'orienter plutôt sur des faits criminels (e.g. véhicule poussé dans l'eau),
- lorsque le véhicule entre dans l'eau moteur tournant, du fait du phénomène d'incompressibilité de l'eau, une torsion au niveau de la bielle est visible (*figure 11*) et on peut s'orienter plutôt sur des faits accidentels.

3.2.5. Autres traces

Le paragraphe 3 est circonscrit à quelques exemples d'exploitation criminalistique de certaines traces les plus communément retrouvées. Cependant, il convient de noter qu'une multitude d'autres traces peuvent être exploitées dans des laboratoires extérieurs e.g. analyse du taux d'humidité du liquide de frein d'un véhicule, liquide de refroidissement, nature d'un fluide retrouvé sur les lieux, etc. Les experts de l'IRCGN sont parfois aussi amenés à faire appel à des médecins légistes pour exploiter en termes de lésion sur un corps. C'est le cas par exemple lorsqu'on veut établir une corrélation entre les lésions observées sur un corps et les impacts présents sur un véhicule dans le cadre d'un accident véhicule contre un usager vulnérable.

3.3. La reconstruction cinématique et scénario plus plausible de l'accident

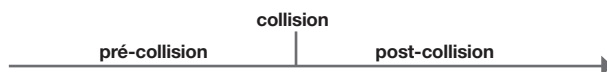
Dans la continuité des travaux de fixation de l'état des lieux qui consistent notamment en l'interprétation des traces et des facteurs des différents {H, V, E} ayant à voir avec l'accident, la démarche dite de reconstruction cinématique regroupe et exploite l'ensemble des éléments, transforme les traces en indices de façon à :

- formuler des hypothèses de travail sur lesquelles les modélisations s'appuieront dans les calculs cinématiques ;
- proposer le scénario le plus plausible des faits.

De façon générale, le déroulement d'un accident de la circulation routière peut, dans la plupart des cas, être décomposé en trois phases :

- la pré-collision ;
- la collision ;
- la post-collision.

Le principe d'une reconstruction d'accident consiste à établir un scénario pertinent de l'accident et à modéliser mécaniquement[7] chacune de ses phases de façon à obtenir des informations en termes de vitesses pour les véhicules impliqués. Pour estimer la vitesse initiale de chaque véhicule, il est nécessaire de « remonter le temps » c'est-à-dire de résoudre dans l'ordre les phases de post-collision, puis de collision, enfin de pré-collision.



La post-collision est la phase située chronologiquement en aval de la collision. Pour un véhicule donné, son étude consiste à modéliser le comportement du véhicule entre sa position d'arrêt et la fin du choc. Si le véhicule ne s'arrête pas au niveau de la zone d'impact, on parle de vitesse de séparation qui devient nulle lorsque le véhicule atteint sa position d'arrêt.

La collision est la phase la plus courte de l'accident puisqu'elle ne décrit exclusivement que le choc. Lorsque deux véhicules sont impliqués, on introduit dans la modélisation de cette phase pour chacun des deux véhicules les notions de vitesse en début de choc et de vitesse en fin de choc.

La pré-collision est la phase dans laquelle est modélisé le comportement du véhicule en amont de la collision, par exemple du début d'un freinage d'urgence jusqu'au début du choc.

En ce qui concerne plus particulièrement la reconstruction cinématique, elle consiste à estimer les paramètres cinématiques du véhicule lors des différentes phases de l'accident, donc d'en déduire le scénario le plus probable compte tenu des traces relevées sur les lieux et des déclarations si leur potentiel d'information peut être exploité (i.e. notamment exploitation des déclarations en se basant sur les traces vestiges de l'interaction du véhicule et de l'environnement...). Cette étape implique une modélisation mécanique du problème.

Nous donnons ci-après les modélisations¹ mécaniques simplifiées par phase pour une collision entre deux véhicules ou un choc contre obstacle fixe.

En ce qui concerne les phases de pré-collision et de séparation

Parmi les équations de la mécanique générale utilisées pour l'estimation des vitesses, l'équation relative à un mouvement rectiligne uniformément décéléré (ou accéléré suivant les cas) en cinématique du point pesant est la plus usuelle et s'applique dans la plupart des cas. Cette équation est donnée par :

$$V_f^2 = V_i^2 + 2ad$$

où

- V_f est la vitesse finale de la phase (en m/s) ;
- V_i est la vitesse initiale de la phase (en m/s) ;
- a est le coefficient de décélération (négatif) ou d'accélération (positif) exprimé en m/s^2 ; ce coefficient représente une valeur moyenne et non pas la valeur maximale ;
- d est la distance sur laquelle le mouvement est effectué (en m).

Concernant les décélérations utilisées par exemple pour les calculs au cours des ripages en pertes de contrôle et lors de freinages, elles sont issues des tests effectués sur pistes avec des conducteurs volontaires qui se retrouvent dans des situations accidentelles non prévues : obstacle imprévu sur la voie et étude de la réaction du conducteur en situation d'urgence, virage avec zone « dérapante » pour voir le comportement du conducteur. Les enregistrements de toutes ces réactions permettent de donner des valeurs de temps de réaction mais aussi de décélérations au cours des manœuvres réalisées.

En ce qui concerne la modélisation du freinage d'un véhicule

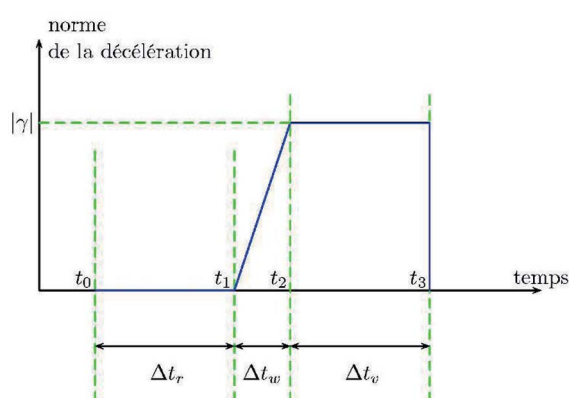
Pour modéliser le freinage d'un véhicule (par utilisation du frein au pied), on peut adopter un type de modélisation similaire à celui précédemment présenté pour modéliser notamment la phase de post-collision, et qui consiste à estimer un changement d'énergie cinétique du véhicule par rapport à une décélération moyenne (fonction du type de traces, du type de revêtement, des conditions climatiques...).

À l'instar de [8], on peut ainsi modéliser la norme de la décélération moyenne en amont de la zone d'impact d'un

1. Pour ne pas surcharger le document, nous ne traitons pas ici des collisions véhicule contre usager vulnérable.

véhicule (plus particulièrement un véhicule de tourisme) de la façon suivante en considérant 3 sous-phases :

- accélération établie pour le véhicule avant détection du danger ;
- montée en puissance du freinage ;
- freinage établi avec blocage des roues avant dans le cadre d'un freinage d'urgence pour un véhicule non équipé ABS, et freinage établi sans blocage de roue (mais avec éventuels micro-blocages des roues avant) pour un véhicule équipé ABS.



On introduit les notations suivantes :

- le temps t_0 correspond au moment où le conducteur du véhicule détecte un danger ;
- le temps t_1 correspond au moment où le véhicule commence à décélérer ;
- le temps t_2 correspond au début du freinage établi qui peut se traduire par un blocage de roues pour un véhicule non équipé ABS en cas de freinage d'urgence ;
- le temps t_3 correspond à la fin du freinage établi qui peut se traduire par la fin du blocage de roues pour un véhicule non équipé ABS en cas de freinage d'urgence ;
- $Dt_r = t_1 - t_0$ est le laps de temps de réaction du véhicule ;
- $Dt_w = t_2 - t_1$, est le laps de temps de montée en puissance du freinage ;
- $Dt_v = t_3 - t_2$, est le laps de temps pendant lequel le véhicule freine de façon établie (en laissant une trace de dérapage si ses roues avant bloquent) ;
- V_i est la norme de la vitesse du véhicule à $t = t_1$ (au moment où le véhicule commence à décélérer) ;
- V_0 est la norme de la vitesse du véhicule à $t = t_2$ (début du freinage établi, voire au début des traces de dérapage pour un véhicule non équipé ABS) ;
- $a_{\text{dérapage}}$ est la norme de la décélération moyenne du véhicule dans la sous-phase de freinage établie (avec ou sans au blocage de roues) ;
- $d_{\text{dérapage}}$ est la distance pendant laquelle le véhicule est en freinage établi, voire laisse la trace de dérapage (trace de freinage) s'il n'est pas équipé ABS.

Avec les notations précédentes, on peut écrire :

$$V_0 = (V_i^2 + 2 a_{\text{dérapage}} d_{\text{dérapage}})^{1/2}$$

$$(Dt_w) = (V_0 - V_i) / a_{\text{dérapage}}$$

$$V_i = V_0 + a_{\text{dérapage}} (Dt_w) / 2$$

Pour utiliser cette modélisation, il faut notamment pouvoir déterminer :

- la distance pendant laquelle le véhicule a été en freinage établi,
- sa vitesse à la fin de cette sous-phase,
- la décélération moyenne du véhicule lors de cette sous-phase.

À noter que, même lors d'un freinage d'urgence, la distance pendant laquelle le véhicule a été en freinage établi, est dans la plupart des cas impossible à déterminer pour un véhicule équipé d'un système ABS efficace et correctement utilisé qui empêche le blocage de roues (ipso facto qui empêche donc le dépôt de traces de gomme de pneumatique sur la bande de roulement d'une chaussée, pour un véhicule circulant sur une route).

En ce qui concerne les chocs contre obstacle fixe

Quand le véhicule entre en collision avec des impacts sévères contre des obstacles fixes indéformables (e.g. arbres), les énergies nécessaires pour obtenir ces déformations de la voiture sont exprimées en termes d'EES (*Energy Equivalent Speed*), qui est la vitesse à laquelle il faudrait envoyer ce véhicule contre un obstacle indéformable pour reproduire les mêmes déformations. À partir de cette valeur, qui est utilisée communément par toutes les équipes en accidentologie (notamment celles du département Mécanismes d'Accidents – MA – IFSTTAR et du Laboratoire d'Accidentologie, de Biomécanique et d'étude du comportement humain – LAB) pour les calculs de vitesses, on utilise alors la formule simple suivante (pour une collision avec un obstacle indéformable) :

$$V_f^2 = V_i^2 - EES^2$$

où

- V_f est la vitesse finale de la phase (en m/s) ;
- V_i est la vitesse initiale de la phase (en m/s) ;
- EES est exprimé en m/s.

Si le véhicule est impliqué dans plusieurs phases de freinage, de ripage et de chocs multiples, la vitesse initiale se calcule alors à partir de tous les EES estimés et des distances parcourues selon les niveaux de décélérations pris en compte, comme indiqué dans la formule suivante :

$$V_i^2 = 2a_1d_1 + EES_1^2 + EES_2^2 + 2a_2d_2 + EES_3^2 + 2a_3d_3 + \dots$$

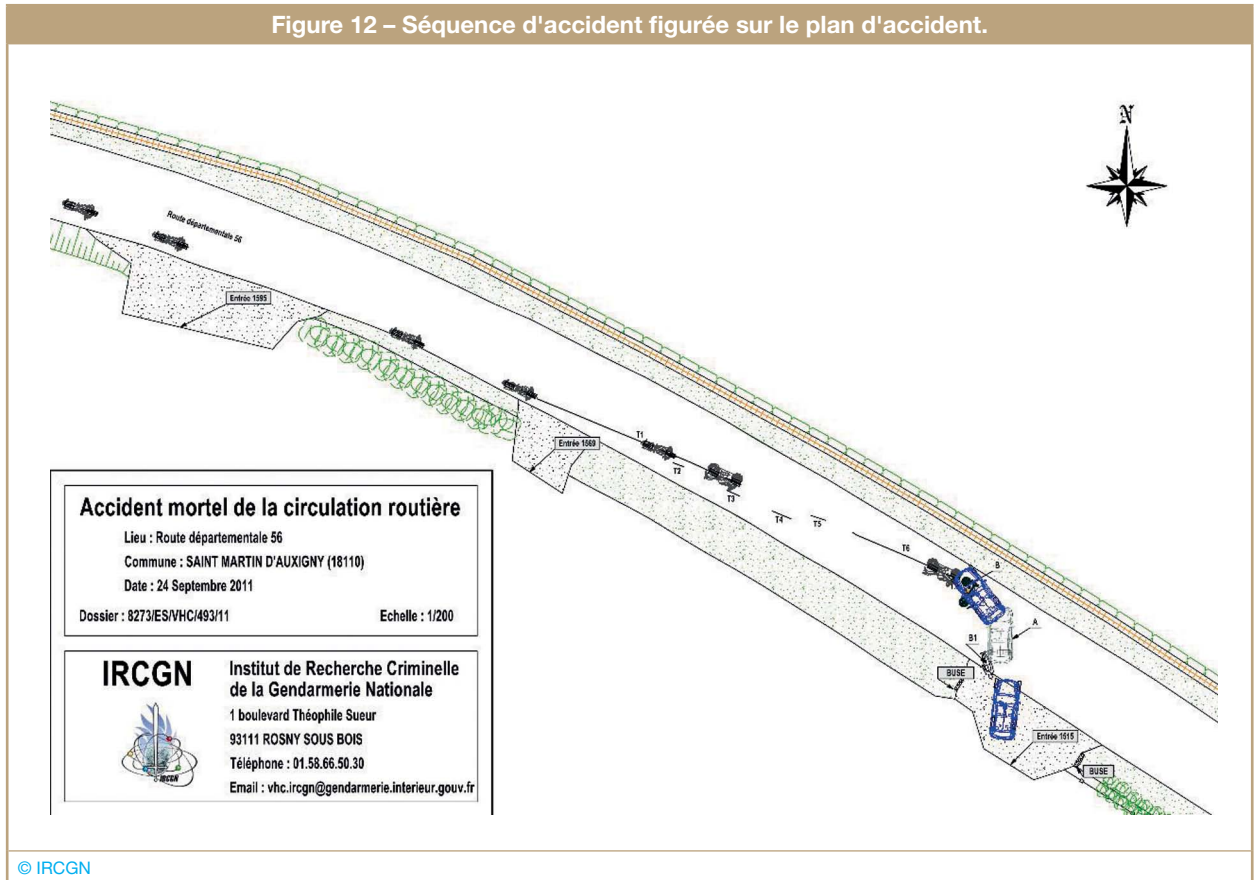
En ce qui concerne la phase de collision

Dans le cas de la collision entre deux, on peut utiliser le principe de conservation de l'énergie totale. L'énergie totale, E_T , du système formé par les deux véhicules, modélisés comme des points pesants reste constante au cours du choc. Il n'y a ni dissipation, ni création d'énergie au niveau du système formé par les deux véhicules :

$$E_T = \text{constante}$$

Pour prendre en compte l'énergie consommée dans la déformation de chacun des deux véhicules, on utilise la notion d'*Energy Equivalent Speed* (EES) qui correspond à la vitesse à laquelle le même type de véhicule – présentant des déformations et des dégâts similaires à ceux

Figure 12 – Séquence d'accident figurée sur le plan d'accident.



observés sur le véhicule de question – a été projeté sur une barrière fixe lors d'essais de crash-tests réalisés par les constructeurs automobiles ou des organismes ayant à voir avec la sécurité routière. L'équation de conservation de l'énergie totale du système {A, B} peut s'écrire sous les deux formes suivantes :

$$2 E_t = m_A V_{Ac}^2 + m_B V_{Bc}^2 \quad (1)$$

$$2 E_t = m_A (EES_A^2 + V_{Af}^2) + m_B (EES_B^2 + V_{Bf}^2) \quad (2)$$

où :

- V_{Ac} (respectivement V_{Bc}) est la norme de la vitesse du véhicule A (respectivement B) en début de choc,
- V_{Af} (respectivement V_{Bf}) est la norme de la vitesse du véhicule A (respectivement B) en fin de choc,
- m_A (respectivement m_B) est la masse du véhicule A (respectivement B),
- EES_A (respectivement EES_B) est l'*Energy Equivalent Speed* du véhicule A (respectivement B) judicieusement corrélée aux déformations et aux dégâts du véhicule.

Le principe de conservation de la quantité de mouvement peut également être appliqué à l'événement collision dans lequel les deux véhicules sont modélisés comme des points pesants, tel que :

$$m_A \vec{V}_{Ac} + m_B \vec{V}_{Bc} = m_A \vec{V}_{Af} + m_B \vec{V}_{Bf}$$

Cette équation vectorielle peut s'exprimer dans le cadre d'une modélisation bidimensionnelle de l'accident (projection sur le plan de la route) par les équations :

$$m_A V_{Ac} \cos(\Psi_{Ac}) + m_B V_{Bc} \cos(\Psi_{Bc}) = m_A V_{Af} \cos(\Psi_{Af}) + m_B V_{Bf} \cos(\Psi_{Bf}) \quad (3)$$

$$m_A V_{Ac} \sin(\Psi_{Ac}) + m_B V_{Bc} \sin(\Psi_{Bc}) = m_A V_{Af} \sin(\Psi_{Af}) + m_B V_{Bf} \sin(\Psi_{Bf}) \quad (4)$$

En introduisant les notations suivantes :

- l'angle Ψ_{Ac} (respectivement Ψ_{Bc}) que fait, en début de l'évènement collision, le vecteur vitesse (respectivement avec l'axe des $\vec{x}_i$,
- l'angle Ψ_{Af} (respectivement Ψ_{Bf}) que fait, en fin de l'évènement collision, le vecteur vitesse (respectivement avec l'axe des $\vec{x}_i$,
- avec $(0, \vec{x}, \vec{y})$ repère arbitraire orthonormé direct.

Pour modéliser la phase de collision entre les deux véhicules, nous travaillons par approche paramétrique en combinant les principes de conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie totale.

L'approche paramétrique consiste à rechercher, pour des intervalles donnés ou calculés de valeurs des grandeurs Ψ_{Ac} , Ψ_{Bc} , Ψ_{Af} , Ψ_{Bf} , m_A , m_B , V_{Af} , V_{Bf} , EES_A , EES_B , les couples de solutions (V_{Ac}, V_{Bc}) qui satisfont aux deux principes précités de conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie totale.

Afin de prendre en compte les incertitudes liées aux paramètres utilisés dans le problème, chaque valeur d'entrée utilisée est donnée sous la forme d'un intervalle correspondant à son domaine de validité. Ainsi, à l'issue des calculs, il nous est possible de donner la vitesse à laquelle était animée le véhicule à chaque étape de l'accident. Celle-ci est donnée sous la forme d'un intervalle

$[V_{\min}; V_{\max}]$ au début et à la fin de chaque phase de la séquence d'accident. En complément, si la mission le requiert, des calculs d'évitement peuvent être réalisés.

Lorsque l'accident investigué le permet, une simulation numérique en trois dimensions peut être réalisée avec des logiciels dédiés (e.g. PC CRASH, Madymo). Ces simulations permettent à la fois de valider les intervalles de vitesses calculés et également de proposer une visualisation de l'accident.

En résumé, la mission de reconstruction cinématique d'un accident routier consiste à définir de façon schématique les actions à mener afin de :

- définir à partir des hypothèses de travail une séquence de collision, i.e. définir une séquence chronologique et spatiale pour chaque véhicule impliqué ;
- modéliser mécaniquement chacune des phases de ces séquences spatio-temporelles ;
- vérifier si les étapes de la modélisation et les résultats obtenus confirment où infirment les hypothèses retenues ; et notamment certains témoignages d'impliqués, témoins ou ayant à voir.

- pour un scénario modélisé de façon cohérente, le confronter aux éléments de déclarations recueillies (remarque : si plusieurs scénarii ont été modélisés de façon cohérente, les confronter entre eux et par rapport aux déclarations recueillies).

Nous proposons dans la plupart des expertises un plan sur lequel figure la séquence d'accident ceci afin de faciliter la lecture de l'accident et synthétiser nos travaux (*figure 12*).

4. Conclusion

Le département Véhicules est un acteur majeur dans le traitement judiciaire des accidents routiers. Que ce soit pour identifier le véhicule d'un fuyard ou pour définir le scénario le plus plausible d'un accident, il dispose de personnels hautement qualifiés capables de mettre en œuvre les matériels les plus performants. Situé au cœur d'un plateau multidisciplinaire il peut s'appuyer sur les compétences des autres départements de l'IRCGN et ainsi fournir aux requérants une expertise complète suivant une approche criminalistique éprouvée. Enfin, son action, clairement influencée par les nouvelles technologies, l'oblige à envisager d'ores et déjà les nouvelles opportunités que lui fourniront les véhicules dits « intelligents ».

Liens d'intérêts : les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts avec le contenu de cet article.

Références

- [1] www.enfsi.eu/about-enfsi/structure/working-groups/paint-glass le 15/06/2016
- [2] J. Zieba-Palus, R. Borusiewicz, Examination of multilayer paint coats by the use of infrared, Raman and XRF spectroscopy for forensic purposes, J. Mol. Struct., 792-793 (2006), pp. 286-292
- [3] W.J. Bodziak, Vehicle Tire Marks and Tire Track Measurement, Encyclopedia of Forensic Sciences, 2013, Pages 1-7
- [4] ASTM E1610-14 Standard Guide for Forensic Paint Analysis and Comparison, ASTM International, West Conshohocken, PA (2014) doi:10.1520/e1610.

- [5] R. Horvat et al.: Method of Light Bulbs Analysis on Vehicles Damaged in Traffic Accidents, Traffic&Transportation, Vol. 22, 2010, No. 4, 259-271
- [6] P. Van Elslande, L. Alberman, Scénarios-types de production de l'erreur humaine dans l'accident de la route – Problématique et analyse qualitative, Institut National de Recherche sur le Transports et leur Sécurité (INRETS), Rapport n° 218, juillet 1997.
- [7] D. Lechner, La reconstruction cinématique d'accident, Institut National de Recherche sur le Transports et leur Sécurité (INRETS), Rapport n° 21, 1986.
- [8] Delcon et al. - Les accidents de la circulation, publication interne de l'union professionnelle des experts automobiles de Belgique.

Les produits de marquage codés

Nicolas Haraczaj^a, Frédéric Forain^a.

RÉSUMÉ

Plusieurs sociétés privées proposent des dispositifs permettant le marquage des lieux, des biens et des personnes. Ces solutions commerciales se présentent sous différentes formes et formulations (graisse, gel, liquide, vernis, spray...), chacune étant destinée à une application dédiée. L'emploi de cette technologie est destiné à un large public (professionnels, particuliers, forces de l'ordre), chaque formulation ayant un objectif spécifique.

Ces produits revêtent une particularité commune : apporter un caractère discriminant à l'objet ou au lieu marqué, un système de codage étant inséré à la fabrication par le fournisseur et ce dernier garantissant leur unicité. Leurs utilisations génèrent des traces qui sont exploitées comme n'importe quel élément pouvant permettre de contribuer à la manifestation de la vérité, apportant *in fine* un élément matériel au procès pénal.

La détection de la présence d'un marquage est réalisée, hors le cas des encres de maculage de billets de banque dont la présence visuelle est explicite, par l'usage d'une lampe à ultraviolet. La lecture du code des produits est réalisée en laboratoire et fait intervenir différentes techniques analytiques (ICP-MS, MEB, pyro-séquençage, séquençage, génotypage, observation optique...) selon la nature du système de codage intégré (minéral, biologique, physique...). Ces nouvelles technologies sont désignées sous l'appellation Produits de Marquage Codés ou PMC.

Code unique – discriminant – génotypage – ICP-MS – MEB – PMC – produit de marquage codé – pyroséquençage – séquençage.

1. Introduction

Pour lutter contre la criminalité, les technologies de marquage codé issues de la lutte contre la contrefaçon ont fait depuis quelques années irruption dans le domaine de la sécurité. Ces produits innovants (**figure 1**) sont disponibles aussi bien pour la protection des commerces que pour les particuliers ou pour les forces de l'ordre sous des formulations dédiées à chaque application. La nécessité d'endiguer la hausse du nombre de vols à main armée perpétrés contre les commerces particulièrement exposés à la malveillance a conduit à rechercher, avec les représentants de ces professions, les solutions les plus adaptées aux problématiques de

^a Pôle Judiciaire de la Gendarmerie Nationale (PJGN)
Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale (IRCGN)
5, boulevard de l'Hautil - 95000 Cergy Pontoise

Correspondance
nicolas.haraczaj@gendarmerie.interieur.gouv.fr

article reçu le 30 août 2016, accepté le 30 septembre 2016.
© 2016 – Elsevier Masson SAS – Tous droits réservés.

SUMMARY

Forensic tagging systems

Several private companies offer some devices and products for place, asset and individuals tagging. Those commercial solutions have different forms and compositions (grease, gel, fluid, varnish, spray...), each designed for a dedicated application. The use of this technology is intended to a large public (professionals, private individuals, police services), each formulation having a specific purpose.

Those products have a common feature: they give a determining characteristic to the tagged item or place. A coding system built in them by the supplier assures their uniqueness. Their usage leaves traces that are used as an evidence during a criminal case.

Detecting the presence of a marking is performed using a UV lamp, except for banknote staining ink which is clearly visible. The product code reading is performed in a lab using some different analytical techniques (ICP-MS, SEM, pyrosequencing, sequencing, genotyping, optical observation...), depending on the type of built-in coding system (mineral, biological, physical...). Those new technologies are named forensic tagging systems.

Unique code – evidence – genotyping – ICP-MS – SEM – forensic tagging products – forensic tagging systems – pyrosequencing – sequencing.

sécurité rencontrées. Pour dissuader les délinquants d'agir, certains magasins se sont ainsi équipés de dispositifs anti-agression s'appuyant sur ces nouvelles technologies.

Concomitamment et face à la recrudescence de vols de métaux, à l'origine d'importantes perturbations tant dans le domaine des transports que sur la fourniture d'énergie ou les télécommunications, les fabricants de PMC ont développé des formulations spécifiques à cette problématique afin de pouvoir identifier si besoin la provenance d'objets suspects.

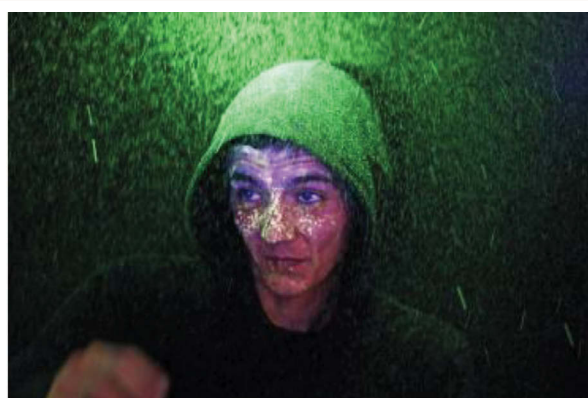
De la même façon, la possibilité est désormais offerte aux particuliers de protéger tout type d'objets (bijoux, multimédia, automobiles, œuvres d'art, habitations...). Enfin, des solutions réservées aux forces de l'ordre sont également apparues, dans le domaine des infractions à l'ordre public mais aussi lors d'opérations dans le domaine de la police judiciaire.

Figure 1 – Diverses solutions commerciales de PMC sous éclairage UV.



© IRCGN - Nicolas Haraczaj

Figure 2 – Dispositif de vaporisation de PMC.



© SMARTWATER (Plaquette commerciale)

2. Formulations / Dispositifs

Les PMC sont commercialisés sous différentes formulations suivant leurs destinations ou usages.

2.1. Les systèmes dispersifs

Parmi la multitude de solutions proposées par les fabricants, on peut retrouver les systèmes dispersifs générant un marquage par vaporisation.

S'agissant de la protection des locaux, les dispositifs anti-agression par vaporisation de PMC (figure 2) se présentent sous la forme de diffuseurs alimentés par un réservoir contenant la solution marquante. Chaque dispositif se compose d'un cylindre en aluminium contenant une solution de marquage à code unique, d'une buse de vaporisation et d'une boîte métallique de protection auto-protégée. Le système peut être configuré de différentes manières et déclenché selon le réglage, vaporisant l'intrus dans le sens de direction des becs de vaporisation. Propre à chaque fabricant, ceux-ci sont réglés pour couvrir une zone spécifique au sol (forme de cône, de rideau...).

Pour faire fonctionner le système, une centrale d'alarme, un radar de présence et/ou un système de déclenchement manuel ou automatique sont nécessaires. La vaporisation sous forme de brumisation dure environ 25 à 40 secondes et crée un motif de gouttelettes et d'écoulements sur les suspects, permettant ainsi d'exclure l'argument d'une

contamination par un tiers. Le liquide contenu dans chaque cylindre du dispositif contient une solution à base aqueuse renfermant un système de codage unique, les propriétés physico-chimiques de ce liquide étant identiques à celles de l'eau.

On observe une persistance de trois à quatre semaines sur la peau (au-delà de cette durée il est nécessaire d'adapter le moyen de prélèvement) et de plusieurs mois sur les vêtements, même soumis à des lavages. Le temps de séchage suite à une vaporisation est de quelques minutes en cutané. Le marquage ainsi réalisé est incolore et invisible à la lumière naturelle mais devient fluorescent sous éclairage UV permettant ainsi une détection rapide.

La recherche du code est réalisable sur la peau, les vêtements, les outils, le butin, dans le véhicule ou au domicile du(des) auteur(s) présumé(s) et permet d'associer une personne ou un objet à un lieu/fait précis.

L'effet majeur recherché par l'installation d'un dispositif de vaporisation est la dissuasion. Associée au dispositif lui-même, une importante signalétique est généralement mise en place autour de la zone protégée.

2.2. Les solutions de protection des biens

Destinées aux particuliers mais également aux professionnels pour certaines applications, ces solutions utilisent les PMC pour marquer de façon durable les biens selon des techniques variant en fonction des produits utilisés et des supports (câbles électriques ou de télécommunication, télévisions, ordinateurs, téléphones, objets d'art, automobiles, tuyauteries en cuivre, etc.).

Le marquage est réalisé par l'application d'un liquide qui après quelques minutes sèche sur le support et forme une sorte de vernis autorisant la manipulation prolongée de l'objet et son exposition en milieu extérieur sans altération du codage. Ce type de produit est généralement applicable au pinceau ou à l'aide d'un système aérosol (figure 3).

La recherche du code est réalisable sur tout support (même s'il a été soumis à l'immersion ou à la calcination) et permet d'associer un objet à son propriétaire. La durée moyenne de tenue sur l'objet est garantie à cinq ans.

Figure 3 – Dispositif de marquage de biens (ici un câble électrique).



© IRCGN - Nicolas Haraczaj

2.3. Les solutions réservées aux forces de l'ordre

Plusieurs solutions réservées aux forces de l'ordre existent actuellement. Outre les systèmes de vaporisations portatifs ou portables permettant la sécurisation discrète d'accès à des locaux sous surveillance (dans ce cas-là, aucun système de signalétique n'est bien entendu utilisé) ou les systèmes de marquage à distance destinés aux opérations

Figure 4 – Tableau périodique des éléments.

Le tableau périodique des éléments classe les éléments chimiques dans l'ordre croissant de leur numéro atomique. Il se compose de 18 colonnes (ou groupes) et de 7 lignes (appelées périodes). Tous les éléments appartenant à une même colonne constituent une famille d'éléments chimiques : ils possèdent une couche électronique externe identique, c'est-à-dire le même nombre d'électrons périphériques, ce qui leur confère des propriétés physico-chimiques similaires. La masse atomique des éléments est établie sur la base de celle de l'isotope 12 du carbone, égale exactement à 12. Les nombres entre parenthèses correspondent à la masse atomique de l'isotope le plus stable.

non-métaux
métaux alcalins
métaux alcalino-terreux
éléments de transition
autres métaux
halogènes
gaz rares

lanthanides
actinides

numéro atomique
masse atomique
symbole
nom

de maintien de l'ordre, des systèmes de marquage permettent la mise en évidence de mode opératoire ou de rattachement auteur-lieu-moyens-victime. Ces outils sont spécifiquement destinés et réservés aux forces de l'ordre. Leur obtention passe généralement par un contact préalable avec l'IRCGN qui réalise une étude de cas et communique les informations nécessaires à leur mise en œuvre.

2.4. Les systèmes de maculage

Destinés au convoyage de fonds et aux distributeurs automatiques d'argent, il s'agit de dispositif associant un PMC « classique » à une encre visible (dite de maculage) qui permet de « neutraliser » le billet en le colorant. L'analyse d'un billet maculé ou de vêtements/outils(...) présentant des traces de maculage permet de remonter au fait déclencheur (date, lieu, préjudice...).

3. Caractère discriminant – codage

Comme précisé précédemment, l'objectif premier d'un produit de marquage codé est d'apporter une caractéristique unique et discriminante à l'objet ou la personne. Le code en lui-même consiste en l'insertion dans le PMC d'un système propre à chaque fournisseur mais permettant à ce dernier et aux laboratoires en charge de la lecture de distinguer de façon formelle chaque lot vendu. Les systèmes peuvent sommairement être classés en trois types : minéral, biologique ou physique.

3.1. Marqueurs minéraux

Les PMC reposant sur les marqueurs minéraux s'appuient principalement sur la présence ou l'absence d'éléments présents dans la classification périodique (figure 4).

Certains fournisseurs travaillent également sur les quantités relatives de chacun de ces éléments. L'objectif est de s'appuyer sur le très grand nombre de combinaisons possibles à partir d'un nombre fini d'éléments.

3.2. Marqueurs biologiques

Les PMC reposant sur les marqueurs biologiques s'appuient principalement sur la présence d'une ou plusieurs séquences de nucléotides composant une chaîne d'ADN synthétique. Certains fournisseurs travaillent également sur la présence de clones caractéristiques dont l'association permet l'obtention du code du produit. Là encore l'objectif est de s'appuyer sur le très grand nombre de combinaisons possibles mais, dans ce cas, à partir d'un nombre fini de nucléotides.

Ces ADN sont dits synthétiques puisqu'entièrement formulés en laboratoire et non viables dans la nature (figure 5).

Figure 5 – Prélèvement d'ADN synthétique amplifié avant analyse finale.



© Fotolia (www.francebleu.fr)

3.3. Marqueurs physiques

Les PMC reposant sur les marqueurs physiques sont composés d'une solution organique (généralement sous forme de vernis ou gel) contenant des particules métalliques micrométriques ou tags sur lesquels est directement gravé le code du produit. Si la lecture directe permet une obtention plus simple du code, l'aspect visible du système de marquage rend ce dernier moins discret.

4. Détection - Techniques analytiques

De la nature du système de codage intégré dépendra bien évidemment la technique analytique mise en œuvre pour sa lecture.

4.1. ICP

Destinée à la recherche qualitative d'éléments entrant dans la composition des marqueurs minéraux, cette technique (*figure 6*) consiste à focaliser un rayon laser de longueur d'onde fixe et déterminée, sur un échantillon. Un plasma se forme dans la zone d'interaction laser - matière. Le plasma est un fluide de très haute température ($> 6000\text{ K}$) qui contient un grand nombre d'ions et d'électrons et a une durée de vie limitée (de l'ordre de la microseconde). Les éléments qu'il contient sont transformés en aérosol et sont transportés par l'intermédiaire d'un gaz porteur (Helium dans notre cas) à un système de torche à plasma induit (ICP) associé à un spectromètre de masse. Ce plasma vaporise, atomise puis ionise les éléments (théoriquement, sous forme $1+$, par arrachage d'un électron de la couche électronique externe). Les ions sont ensuite envoyés vers le spectromètre fonctionnant sous vide qui va les trier en fonction du rapport charge/masse.

Le résultat de l'analyse nous permet de mettre en évidence le ou les éléments minéraux présents dans l'échantillon et, après un traitement statistique destiné à les qualifier, d'obtenir le code du PMC associé à ces éléments.

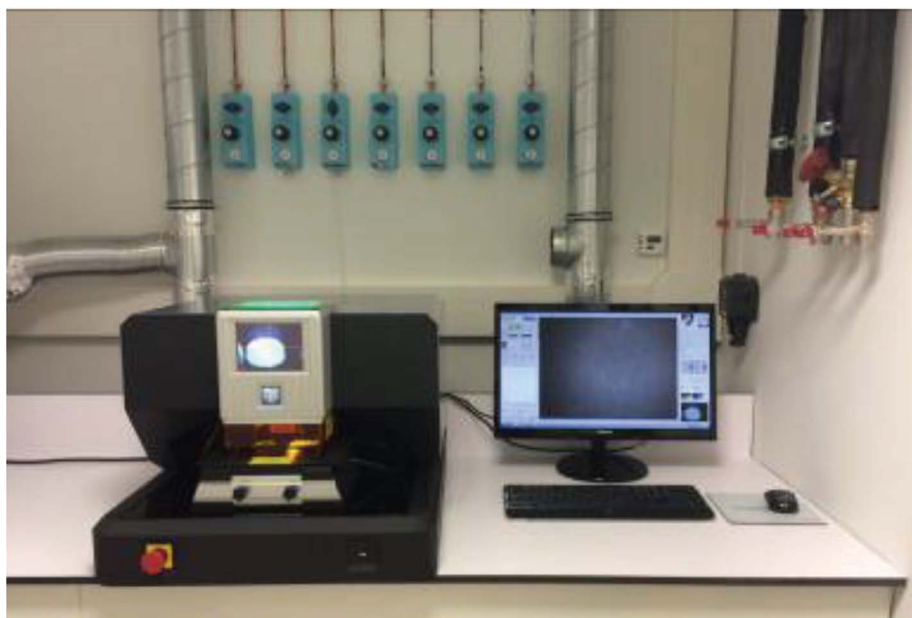
4.2. MEB

La microscopie électronique à balayage (MEB ou SEM pour *Scanning Electron Microscopy* en anglais) est une technique de microscopie électronique capable de produire des images en haute résolution de la surface d'un échantillon en utilisant le principe des interactions électrons-matière.

La MEB consiste en un faisceau d'électrons balayant la surface de l'échantillon à analyser qui, en réponse, réémet certaines particules. Ces particules sont analysées par différents détecteurs qui permettent de reconstruire une image en trois dimensions de la surface.

Un microscope électronique à balayage est essentiellement composé d'un canon à électrons et d'une colonne électronique, dont la fonction est de produire une sonde électronique fine sur l'échantillon, d'une platine porte-objet permettant de déplacer l'échantillon dans les trois directions et de détecteurs permettant de capter et d'analyser les rayonnements émis par l'échantillon. L'ensemble de ses éléments se trouve dans une enceinte placée sous vide (de l'ordre de 10^{-6} torr) nécessaire à la propagation des électrons.

Figure 6 – Système d'ablation laser couplé au spectromètre de masse à plasma induit.



© IRCGN - Nicolas Haraczaj

En microscopie électronique, le faisceau d'électrons primaires vient frapper la surface de l'échantillon et les photons réémis forment un spectre de particules ou rayonnements : électrons secondaires, électrons rétro-diffusés, électrons Auger ou rayons X. Ces différentes particules ou rayonnements apportent différents types d'informations sur la matière dont est constitué l'échantillon. Trois détecteurs équipent en général les microscopes électroniques à balayage : le détecteur d'électrons secondaires (renseignements sur la topographie de l'échantillon), le détecteur d'électrons rétro-diffusés (renseignements sur le contraste chimique de l'échantillon) et le détecteur (à diode Si(Li) ou Ge) pour l'analyse X (renseignements sur la nature chimique élémentaire de l'échantillon).

L'usage du MEB est destiné à la recherche quantitative d'éléments minéraux présents dans l'échantillon et d'obtenir le code PMC associé à ce dernier.

4.3. Pyroséquençage

Destinée à la recherche de séquence caractérisant les marqueurs biologiques, cette technique (*figure 7*) met en œuvre le séquençage de l'ADN par synthèse du brin complémentaire d'une base unique à la fois, tout en déterminant le nucléotide spécifique incorporé au cours de la réaction de synthèse.

Elle s'avère efficace et rapide pour les séquences d'ADN assez courte (< 100 bases).

Si la base injectée correspond à la base complémentaire, elle se fixera sur le brin d'ADN en émettant un flash de lumière sous la chaleur. Ce flash sera capté par la caméra du pyroséquenceur qui le déterminera comme appartenant à la séquence.

À la fin de l'analyse, le pyroséquenceur livrera une séquence complète.

Le résultat de l'interprétation permet de mettre en évidence une séquence de nucléotides présents dans l'échantillon et d'obtenir le code du PMC associé celle-ci.

4.4. Séquençage

Destinée, tout comme le pyroséquençage, à la recherche de séquences caractérisant les marqueurs biologiques, cette technique consiste, après des phases d'extraction de l'ADN, d'amplification par PCR (Polymerase Chain Reaction), de réaction de séquence et une dernière phase de purification spécifique de l'échantillon, d'amplifier l'ADN synthétique présent puis d'isoler des séquences.

Au contraire du pyroséquençage, cette technique peut être appliquée à des séquences beaucoup plus longues (environ 350-400 bases).

Des fluorochromes sont fixés sur les bases et déclenchent un signal lumineux en passant devant une caméra de détection.

Cette détection permet de déterminer une séquence dont le résultat de l'analyse permet de mettre en évidence des séquences de nucléotides présentes dans l'échantillon et d'obtenir le code du PMC associé celles-ci.

4.5. Génomique

Destinée à la recherche de clones caractérisant les marqueurs biologiques, cette technique consiste, après un traitement spécifique de l'échantillon, d'amplifier l'ADN présent par PCR puis d'isoler les parties composant le code. Pour ce type d'analyse, on ne se fixe pas sur la totalité d'une séquence mais sur des parties de séquences distinctes les unes des autres.

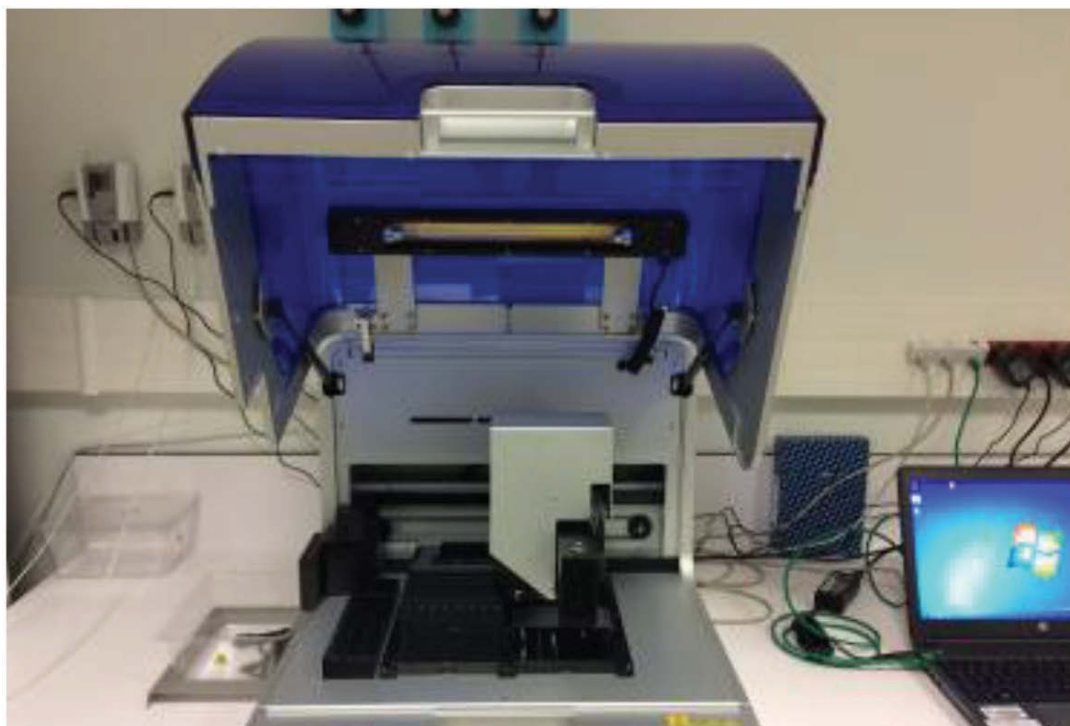
Le système d'analyse de l'échantillon est par contre du même ordre que celui de l'analyse de séquences du point de vue du fonctionnement.

Le résultat de l'analyse permet de mettre en évidence des clones caractéristiques présents dans l'échantillon et d'obtenir le code du PMC associé à ceux-ci.

4.6. Observation macroscopique

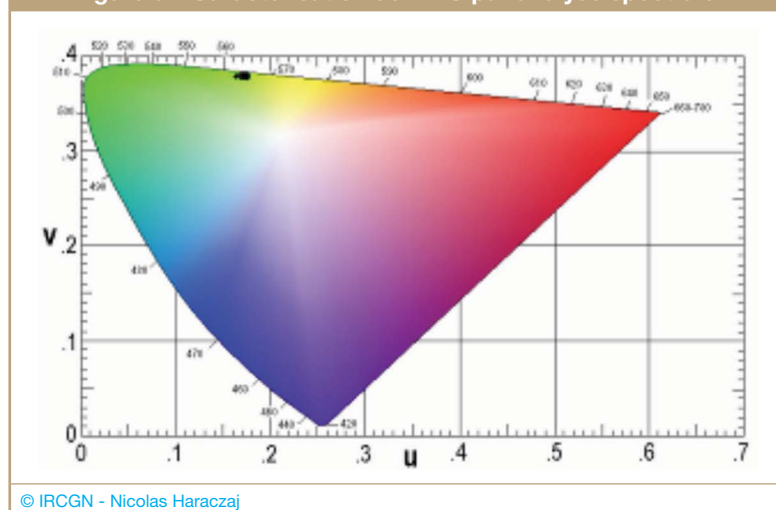
Destinée à la recherche de tags caractérisant les marqueurs physiques, cette technique consiste en l'observation du prélèvement sous grossissement 40x (binoculaire ou microscope digital portable). La mise en évidence des particules métalliques permet l'obtention directe du code utilisé pour le PMC sans traitement particulier de l'échantillon reçu au laboratoire.

Figure 7 – Élément de la chaîne de pyroséquençage.



© IRCGN - Nicolas Haraczaj

Figure 8 – Caractérisation de PMC par analyse spectrale.



© IRCGN - Nicolas Haraczaj

4.7. Analyse spectrale

L'analyse consiste à obtenir les coordonnées colorimétriques (figure 8) de la fluorescence observée sous une lumière UV. À partir de ces coordonnées colorimétriques, un delta E (ΔE) est ensuite calculé avec la valeur moyenne des coordonnées colorimétriques d'une population de référence pour chaque fournisseur et permet d'orienter vers une marque.

4.8. Chromatographie en phase liquide

Cette méthode d'essai a pour objectif la mise en évidence par LC-HRMS de substances entrant dans la composition de produits de marquage codés (PMC).

La technique LC-HRMS repose d'une part sur la séparation des composés présents dans l'échantillon en fonction de leur affinité avec les phases stationnaire et mobile (chromatographie liquide) et d'autre part sur l'identification de ces composés selon leur rapport masse sur charge (m/z) des ions formés (spectrométrie de masse). En sortie de colonne chromatographique, la phase mobile contenant les composés est introduite dans la source du spectromètre de masse à pression atmosphérique. Son passage à travers un fin capillaire porté à un potentiel élevé aboutit

sous l'action conjointe d'un courant gazeux chauffé à la formation d'un nébulisat chargé puis d'un jet gazeux d'ions par des processus de désolvatation et de répulsion (ESI). Les ions sont ensuite transmis à l'analyseur (QToF) qui va trier les ions selon leur rapport masse sur charge (premier quadripôle), les fragmenter en ions produits dans la cellule de collision (deuxième quadripôle) et mesurer ces ions produits avec une haute résolution (QToF). Le détecteur convertit les informations reçues de l'analyseur en signal représentant l'intensité de l'ion pour un m/z précis sous forme de spectre de masse. Les spectres de masse sont ensuite analysés par un logiciel de retraitement des données.

5. Conclusion

Déjà utilisées pour les besoins de nombreuses enquêtes, ces nouvelles technologies sont, pour les enquêteurs comme pour les magistrats instructeurs, des outils complémentaires, innovants, apportant des éléments importants au dossier. Il s'agit d'indices comme les autres, s'imbriquant dans l'enquête judiciaire. Il serait illusoire d'y voir la panacée et la preuve absolue.

Toutefois, en raison de leur forte valeur d'individualisation, les PMC doivent être traités avec une grande rigueur. En amont, la société qui a installé le dispositif doit garantir que le code distribué est bien unique et identifié. La chaîne criminalistique, depuis l'agent de constatation jusqu'au responsable de l'analyse au laboratoire, doit prévenir les contaminations, garantir la bonne réalisation des prélèvements, en assurer la traçabilité et garantir la fiabilité des résultats rendus. Seule cette cohérence permet d'apporter une preuve solide et fiable, reconnue dans de nombreux dossiers traités par l'IRCGN.

L'IRCGN est prêt à faire face à ces nouvelles technologies, par la professionnalisation des acteurs de la police technique et scientifique, des directeurs d'enquêtes et la mise en place de procédures contrôlées.

Liens d'intérêts : les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts avec le contenu de cet article.

QCM Évaluez-vous !

*Ceci est un questionnaire à choix multiples.
Par conséquent, il est possible que certaines questions
puissent bénéficier de plusieurs réponses possibles.
Dans ce cas, il s'agit de les cocher toutes.*

1 En criminalistique, le génotypage:

- ☐ A. Fait majoritairement appel à l'électrophorèse capillaire dans les laboratoires contemporains
- ☐ B. Correspond à un séquençage selon la méthode de Sanger de la molécule d'ADN examinée
- ☐ C. Permet de distinguer avec certitude les mélanges d'ADN impliquant plus de trois contributeurs

2 L'analyse des *single nucleotide polymorphisms* (SNP):

- ☐ A. Permet de s'intéresser à certaines caractéristiques phénotypiques d'un individu (communément regroupées sous le terme « portrait-robot génétique »)
- ☐ B. Donne lieu à une information pouvant être intégrée au sein du fichier national automatisé des empreintes génétiques (FNAEG)
- ☐ C. Implique un véritable séquençage de la molécule d'ADN examinée

3 Comment l'IRCGN garantit la fiabilité de ses résultats d'expertise?

- ☐ A. Les experts travaillent beaucoup
- ☐ B. Les experts font confiance aux intuitions des enquêteurs
- ☐ C. Le travail des experts est soumis à des contrôles externes
- ☐ D. Les experts réalisent deux fois les analyses

4 Quelles sont les quatre missions dévolues à l'IRCGN dans sa note de création?

- ☐ A. La réalisation d'expertise, la projection opérationnelle, la formation des enquêteurs et la recherche expérimentale
- ☐ B. La réalisation d'expertise, la communication, les entraînements et la recherche fondamentale
- ☐ C. La recherche de financement, les exercices terrain, l'enseignement à distance et la recherche appliquée
- ☐ D. La réalisation d'analyses scientifique, la gestion des catastrophes, la formation des experts et l'enseignement

5 Combien existe-t-il d'identifiants primaires selon les recommandations Interpol?

- ☐ A. 1
- ☐ B. 2
- ☐ C. 3
- ☐ D. 4

6 Quelle innovation a été mise en œuvre lors de la catastrophe de la Germanwings?

- ☐ A. Technique de standardisation de prélèvements sur matières biologiques
- ☐ B. Technique de restauration d'empreintes digitales
- ☐ C. Technique de détection des corps enfouis

7 Quelle est la particularité commune à tous les Produits de Marquage Codés?

- ☐ A. Apporter un caractère discriminant à l'objet ou au lieu marqué.
- ☐ B. Être incolore et invisible.
- ☐ C. Être strictement disponible pour les professionnels.

8 Quel est le moyen de détection de la majorité des Produits de Marquage Codés?

- ☐ A. Par l'usage d'une lampe à ultraviolet.
- ☐ B. Par l'usage d'une lampe à infrarouge.
- ☐ C. Par l'usage d'une lampe « blanche » visible.

9 En criminalistique, l'entomologie permet de:

- ☐ A. Déterminer le jour du décès
- ☐ B. D'estimer l'intervalle *post mortem* minimal
- ☐ C. De déterminer les dates de premières pontes d'insectes



© IFCGN

10 En criminalistique, l'analyse des diatomées permet:

- ☐ A. Le diagnostic de la noyade vitale
- ☐ B. L'estimation du délai de submersion
- ☐ C. Le diagnostic de la noyade dans tous types de milieux aquatiques

11 Quel indice pourra permettre de confondre, avec certitude, un véhicule, dans un accident avec délit de fuite:

- ☐ A. Une comparaison de peinture,
- ☐ B. Une comparaison de gomme de pneumatique,
- ☐ C. Une comparaison des stries de cassure sur débris
- ☐ D. Une comparaison de fibre

12 Quels sont les trois composants utilisés pour modéliser la circulation routière:

- ☐ A. Homme, Véhicule, Environnement (H, V, E)
- ☐ B. Homme, Véhicule, Énergie (H, V, E),
- ☐ C. Homme, Véhicule, Réglementation (H, V, R)
- ☐ D. Téléphone, Véhicule, Environnement (T, V, E)

13 À partir de quelle(s) matrice(s) sont principalement interprétés les dosages:

- ☐ A. L'urine
- ☐ B. Le sang
- ☐ C. Le contenu gastrique
- ☐ D. La bile

14 La collaboration médecin légiste/toxicologue/enquêteur est nécessaire, car:

- ☐ A. Elle conditionne les examens (autopsie, analyse toxicologique)
- ☐ B. Elle facilite les interprétations de chacun
- ☐ C. Elle réduit systématiquement les coûts
- ☐ D. Elle permet d'envisager des analyses complémentaires

RÉPONSES AUX QUESTIONS

Voir en première page de la rubrique
Entreprise Labo, page 107

Drogues, les nouveaux produits de synthèse : nouveaux défis pour la santé et la sécurité publiques

Florent Brousse^a, Julie Deseille^a, Mathilde Ferdonnet^a, Alain Gond^a, Paul Lafargue^{a,*}, Bernard Marc^b, Jacques Raveneau^a

RÉSUMÉ

Depuis maintenant un peu plus d'une dizaine d'années, sont apparus, à côté des drogues traditionnelles (cannabis, héroïne, cocaïne et amphétamines), des produits issus de la synthèse chimique et qui répondent d'ailleurs aux attentes des consommateurs à la recherche, notamment, d'effets euphorisants et hallucinatoires plus puissants et qu'il est possible de se procurer de façon discrète par Internet, nouveau mode d'approvisionnement par voie postale, à l'origine de nouvelles habitudes de consommation. Ces nouvelles drogues ou NPS – Nouveaux Produits de Synthèse – dont des dizaines apparaissent chaque année, envahissent le marché des molécules psychotropes illégales avec des conséquences non seulement souvent dramatiques en termes de santé publique mais qui posent également un réel problème de lutte contre leur trafic par Internet.

Drogues - nouveaux produits de synthèse - NPS.

1. Introduction

Dès 1988, G.L. Henderson [1] avait prédit que les nouvelles drogues proposées aux consommateurs seraient synthétiques (nouveaux produits de synthèse ou NPS, que certains qualifient également de nouvelles substances psychoactives ou NSP), puissantes, sélectives et commercialisées avec ingéniosité par le biais de l'Internet. Cependant, rappelons que cette problématique n'est pas nouvelle et que des produits psychostimulants avaient déjà été utilisés, notamment pendant la seconde guerre mondiale. En effet, de nombreux belligérants avaient eu recours aux drogues de synthèse. C'est ainsi que dès 1939, la méthamphétamine, sous le nom de « *Pervitin* », avait été distribuée à très grande échelle dans l'armée allemande, en particulier aux pilotes de chasse et aux tankistes.

a Laboratoire Labex

Personne morale expert près la Cour d'Appel de Versailles
ZAE « Les pointes », rue des grands prés, 60230 Chambly

b Service U.M.J.

Centre hospitalier de Marne-la-Vallée (G.H.E.F.)
2-4, cours de la Gondoire 77600 Jossigny

Correspondance

lafargue.pm@wanadoo.fr

article reçu le 30 août 2016, accepté le 30 septembre 2016.

© 2016 – Elsevier Masson SAS – Tous droits réservés.

SUMMARY

New Psychoactive Substances: a major issue to public health and security

For nearly a decade, products of chemical synthesis have appeared beside traditional drugs (cannabis, heroin, cocaine and amphetamines). These products meet the consumers expectations who are also looking for, notably, euphoric and more powerful hallucinatory effects and that can be purchased on a discrete manner on Internet, the new supply network by post, and source of new consumption habits.

These new drugs or NPS - New Psychoactive Substances - whose dozens emerge each year, swamp the market of illegal psychotropic molecules, and the consequences are not only often dramatic in terms of public health but also a major issue in the fight against their traffic on Internet.

Drugs - Designer drugs - new psychoactive substances - NPS.

Cette pilule, surnommée « *la pilule de Goering* » avait pour propriété d'accroître la vigilance, la résistance à la fatigue et de donner un sentiment d'invincibilité. Au total, plus de deux cents millions de comprimés ont été distribués à la *Wehrmacht* et à la *Luftwaffe* entre 1939 et 1945. Chez les alliés, les amphétamines ont été également données aux troupes américaines et britanniques. Aux États-Unis, les « *go-pills* » continuent à être prescrites lors d'opérations aériennes de longue durée. Plus récemment, les groupes terroristes islamiques ayant perçu tout l'intérêt de ces substances délivrent du Captagon® (mélange d'amphétamine de synthèse et de théophylline) à leurs combattants. Cette drogue, encore plus dangereuse quant aux effets secondaires, diminue la sensation de fatigue, la douleur, augmente la vigilance et altère le jugement. Elle permet aux combattants de se « *déshumaniser* » et d'éviter de se rendre compte des actes qu'ils commettent. Les conséquences dramatiques de telles perturbations de la personnalité ont pour traduction les épouvantables attentats dont ont été récemment victimes un certain nombre de pays.

Actuellement, les dérivés quantitativement les plus importants sont les cannabinoïdes de synthèse que l'on trouve souvent mélangés à un support végétal (*spices*) [2] et **figure 1**, les cathinones de synthèse « *dérivés haute couture* », « *sels de bain* » [3], et les dérivés de la phényléthylamine, directement rattachés aux amphétamines [4]. Ces dérivés constituent un éventail hétérogène de substances qui imitent les effets des drogues illicites plus classiques (cannabis, ecstasy ou cocaïne).

En 2004, comme alternative au cannabis traditionnel, sont apparues des herbes suspectes diffusées d'abord à Londres et responsables de comportements anormaux, notamment au volant [2], mais qui n'étaient pas détectables par les méthodes jusque-là utilisées pour la recherche du cannabis [5].

À la suite de la multiplication des signalements rapportés par les différents pays européens, l'Observatoire Européen des Drogues et Toxicomanies (OEDT) a été saisi pour prendre en charge cette nouvelle problématique [6]. En effet, fin 2015, plus de 450 NPS sont déjà parfaitement identifiés et rien qu'en 2014, 101 nouvelles substances ont été détectées pour la première fois [6].

Toutefois, compte tenu du décalage éventuel entre le moment où le produit est saisi, son identification et la transmission des informations, ce total, toujours susceptible d'évoluer, est sous-évalué. La croissance de la mise sur le marché de ces NPS est en constante augmentation et rien qu'en France, il est apparu, en 2014, une nouvelle drogue par semaine, soit 1,5 fois plus qu'en 2013 [7].

On note également de plus en plus de molécules issues de nouvelles familles chimiques comme les arylcyclohexylamines (similaires à la kétamine), les arylalkylamines, les dérivés de synthèse de la tryptamine et/ou des pipérazines [6,7] ou encore les nouvelles benzodiazépines (le flubromazolam est 20 fois plus puissant que le diazépam) [8], pour ne citer que les plus importantes. Ainsi, depuis l'année 2000, près de 200 nouvelles substances psychoactives de synthèse ont été détectées :

- cannabinoïdes : 52 ;
- cathinones : 41 ;
- phényléthylamines : 38 ;
- tryptamines : 15 ;
- pipérazines : 8 ;
- opioïdes : 6 ;
- divers : 37.

Un nouveau tranquillisant extrêmement puissant, le carfentanil, est responsable, entre le 19 août 2016 et le 15 septembre 2016 (soit à peine en un mois) de plus de 300 overdoses dont 8 mortelles dans l'Ohio.

Face à ce véritable danger, l'Union Européenne a donc décidé de mettre en œuvre une politique de lutte contre leur diffusion avec des résultats qui ne sont, malheureusement, pas à la hauteur des ambitions affichées [6]. Le but de cet article est de faire le point sur les nouveaux produits de synthèse, leurs effets et leur toxicité ainsi que sur les méthodes d'identification et de dosage utilisables pour les produits et les principaux milieux biologiques au niveau desquels des prélèvements peuvent être réalisés [5].

Figure 1 - Cannabinoïdes de synthèse



La commercialisation s'effectue sous un packaging attractif avec un nom exotique, comme, ici, le Spice. © professeur J-P Goulle [11]

2. Principaux nouveaux produits de synthèse et leurs effets

2.1. Les cannabinoïdes de synthèse

Ces composés, vendus sous des noms les plus fantaisistes (*Black Mamba*, *Dream*, *Genie*, *K3 Legal*, *Magic*, *Skunk*, *Spice silver*...), présentent une toxicité sans commune mesure avec le produit naturel (jusqu'à 80 fois plus actifs), bien qu'ils agissent au niveau des mêmes récepteurs cannabinoïdes, les récepteurs CB1 [9,10]. Comme le rappelle le Professeur J-P Goulle [11], membre de l'Académie nationale de pharmacie, on note trois fois plus de phénomènes d'hypertensions artérielles et de vertiges, mais aussi, et surtout, six fois plus d'hallucinations et trois fois plus de tachycardies susceptibles de menacer le pronostic vital, que chez les utilisateurs de cannabis traditionnel [12-14].

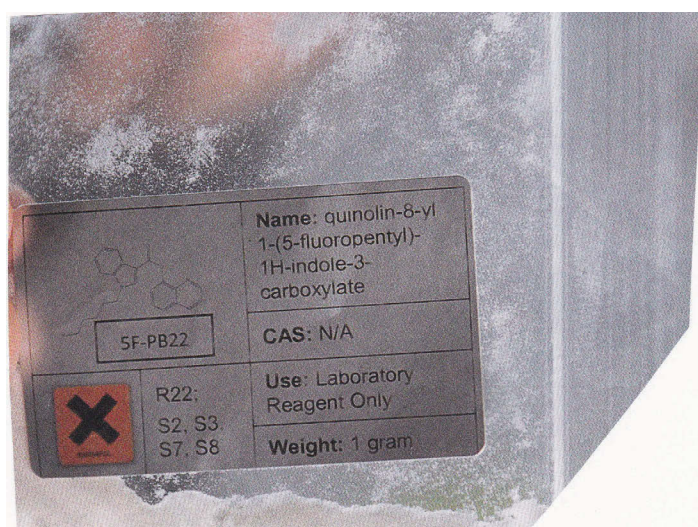
Après leur consommation, des intoxications à conséquence mortelle par défenestration et automutilation consécutives au syndrome hallucinatoire, mais aussi par arrêt cardiaque ou infarctus du myocarde, voire état de mal épileptique sont rapportés [2,12,14].

Ces accidents peuvent s'expliquer par la méconnaissance que nous avons sur le fonctionnement des récepteurs cannabinoïdes et des doses toxiques. [2,9,10] On peut émettre l'hypothèse que le regrettable accident survenu lors d'un essai de phase 1, à Rennes, s'inscrit très vraisemblablement dans cette connaissance incomplète du fonctionnement des récepteurs cannabinoïdes. En effet, il est possible d'évoquer l'accumulation du produit ou de métabolites qui n'existent pas chez l'animal, un surdosage ou une action « hors cible » inconnue de la molécule testée [2,10].

L'hypothèse à ce jour la plus vraisemblable est celle d'une toxicité propre de la molécule *via* sa fixation sur d'autres structures cellulaires cérébrales.

Cependant, malgré les problèmes sanitaires posés par ces substances, elles sont à l'origine d'une voie de

Figure 2 - Réactif de laboratoire



Recommandations des fournisseurs pour éviter des poursuites. © professeur J-P Goulle [11]

recherche très intéressante car elles sont impliquées dans les mécanismes concernant la mémoire, le sommeil, la dépression, l'appétit et surtout la douleur [15]. Ceci explique que l'industrie pharmaceutique cherche à développer des molécules agonistes ou antagonistes de ces récepteurs.

2.2. Les cathinones de synthèse

Si la méphédronne et la MDPV (Méthylène Dioxy Pyro Valérone) sont les plus répandues, il existe de nombreux autres dérivés « haute couture » ou « designer drugs ». Elles sont souvent consommées de manière interchangeable avec les amphétamines ou l'ecstasy. Rappelons que la cathinone naturelle est le principe actif du khat, dont l'utilisation est très ancienne dans la corne de l'Afrique et dans la Péninsule arabique.

Figure 3 - Exemple d'étiquetage



Recommandations des fournisseurs pour éviter des poursuites. © professeur J-P Goulle [11]

Leur consommation, dans le cadre de pratiques sexuelles intensives (*marathons*) à partenaires multiples, a été rapportée. Ces pratiques dites de « *slam* » suscitent des inquiétudes du point de vue comportement sexuel et sanitaire. Les effets psychostimulants observés sont assez semblables à ceux obtenus avec les amphétamines ou la cocaïne [3,10].

L'intoxication aigüe aux cathinones de synthèse peut, également, engager le pronostic vital et elle figure parmi les causes les plus fréquentes de décès. On observe une tachycardie, des anomalies à l'électrocardiogramme à type de troubles de la conduction, d'arythmies, des convulsions, une rhabdomyolyse et des complications psychiatriques [3,6,10].

2.3. Les phényléthylamines de synthèse

Ces nouvelles substances psychoactives, apparentées à l'amphétamine sont donc, à l'origine stimulantes, mais, grâce à des modifications de la structure de base, manifestent des propriétés hallucinogènes qui sont les plus recherchées et qui se manifestent dès la dose de 50 microgrammes. Elles sont plusieurs dizaines à répondre à cette demande et d'appellations fantaisistes (*Bromo-DragonFly*, *2C-B*, *2C-B-Fly*...) [4,6].

2.4. Explosion de la demande

Elle s'explique par la recherche de drogues de plus en plus puissantes permettant l'obtention de sensations fortes au niveau du système nerveux central, d'effets euphorisants ou hallucinatoires [4,6,10,12,14].

D'une part, l'acquisition de ces substances est facilitée par le flou d'une législation qui n'est pas adaptée. En effet, tant qu'une substance n'est pas classée comme stupéfiant, donc interdite, elle est, sous-entendu, autorisée, ce qu'a compris la criminalité organisée intéressée par le prix de vente en ligne d'un gramme de NPS, qui se situe entre 8 et 20 euros.

D'autre part, les clients de sites de vente en ligne diffèrent de l'image des toxicomanes en rupture de ban. Ceux-là disposent d'une carte de crédit pour acheter les produits et une adresse pour recevoir le colis par voie postale sous les appellations les plus fantaisistes (*engrais*, *produits pour la recherche*, *compléments alimentaires*...). La livraison par la poste évite les situations inconfortables comme rechercher un dealer dans la rue. La diffusion par Internet a développé de nouvelles habitudes de consommation (*darknet*) [6]. Détail troublant, officiellement, un certain nombre de ces substances ne sont pas des stupéfiants, mais des produits chimiques destinés à la recherche pharmaceutique (figure 2).

À cela s'ajoute le fait que leur consommation ne peut pas être détectée par les méthodes classiques de recherche dans les milieux biologiques et que leur obtention par le biais d'Internet – plus de 700 sites – permet de se les faire livrer de façon discrète.

Quant aux fournisseurs qui réalisent des bénéfices colossaux, ils se mettent à l'abri de poursuites, en mentionnant qu'il s'agit de produits « *not for human consumption* », (figure 3) pendant que le coût social des drogues pour la France est estimé à environ 9 milliards d'euros par an [6,7].

3. Détection et identification des produits de synthèse

3.1. L'identification des nouvelles substances psychoactives

Les analyses toxicologiques réalisées dans le cadre de l'urgence hospitalière ou de la sécurité routière et qui font appel à des techniques immunochimiques, sont totalement inopérantes lorsqu'il s'agit des nouvelles drogues de synthèse [5].

Seules, des méthodes plus performantes doivent être mises en œuvre.

Dans un premier temps, il est nécessaire d'extraire le nouveau produit de synthèse (NPS). Pour cela, on dispose de l'extraction liquide-liquide, par un solvant organique ou sur phase solide (SPE). Des méthodes d'extraction en ligne sont également disponibles, permettant un couplage direct SPE-appareil de chromatographie.

Les principales méthodes analytiques mettent en œuvre, pour l'essentiel [5] :

- des méthodes chromatographiques : gazeuses (GC) ou liquides (LC et LC-LC), pour la séparation des molécules organiques préalablement extraites,
- des méthodes d'identification et de quantification des molécules ainsi séparées : spectrométrie UV-visible avec système à barrette de diodes, spectrométrie de masse (MS), spectrométrie de masse en tandem (MS/MS), ou spectrométrie à mobilité ionique (IMS) pour l'analyse des poudres et formes solides.

Cette dernière technique présente l'avantage de mettre en œuvre un matériel transportable et donc directement utilisable sur le terrain. Il en est de même pour un matériel peu souvent utilisé bien que performant et peu encombrant, le spectroscope infrarouge à transformée de Fourier (IR-TF).

L'interprétation se fait par comparaison des résultats obtenus avec ceux d'une bibliothèque de spectres connus. Il apparaît dès lors évident, que lorsqu'il s'agit de nouvelles molécules, l'analyste ne dispose pas toujours des informations correspondantes.

La disponibilité récente d'appareils de mesure en « masse exacte » de type LC-Q-TOF ou Orbitrap, permet une spécificité quasi absolue d'identification des composés. En effet, elle permet de distinguer des masses avec une précision de 4 chiffres après la virgule. Mais les plus nouveaux produits de synthèse ne figurant pas dans les bibliothèques, le problème pour l'identification est celui rapporté *supra*.

Les structures moléculaires des NPS se rapprochent de celles des stupéfiants, sans être tout à fait identiques. Cette spécificité représente un double défi pour les pouvoirs publics et les autorités de santé. Cette spécificité permet, en effet, de contourner la législation sur les stupéfiants.

Comme déjà mentionné, les NPS sont principalement distribués par Internet et livrés par voie postale, faisant des services douaniers le principal acteur de lutte contre le trafic au niveau notamment des centres de tri postaux.

3.2. Matériels mis en œuvre au laboratoire

Pour répondre à cette problématique, un laboratoire spécialisé se doit de disposer, bien entendu, de l'ensemble des matériels mentionnés précédemment.

Dans le cas précis de notre laboratoire, le matériel destiné à l'identification et à la quantification en routine des NPS, fait appel à un ensemble de GC/MS-03 de marque AGILENT dédiés aux produits (GC 7890A – CN 14103074 ; MS 5977A – US1410M204) équipés d'un injecteur automatique (7693). L'ensemble est géré par un système informatique sous Windows XP PRO avec logiciel H.P « Chemstation ».

Les bases de données spectrales sont : WILEY, NIST et PMW-TOX, soit environ 300 000 spectres.

Dans quelques cas particuliers, il est parfois nécessaire de mettre en œuvre la LC/MS.MS.

3.3. Exemple de nouveaux produits de synthèse identifiés au laboratoire

Dans le cadre de son activité de toxicologie analytique et médico-légale et sur des prélèvements principalement franciliens, le laboratoire a pu identifier un certain nombre de NPS. Il est possible de citer, parmi les plus fréquents et en utilisant le plus souvent les noms fantaisistes sous lesquels ils sont vendus : la *métamphétamine*, la *cathinone*, la *MDA*, la *4-MEC*, la *MDMA*, la *MDEA*, la *MBOB*, la *2C-C*, la *DOC*, la *2C-B*, la *DOB*, la *5-MeO-DMT*, la *25C-NBOMe*, la *HU 210*, la *JWH-073*, la *JWH-078*.

Cette liste ne fait que confirmer, avec l'acuité des résultats de terrain, les données générales de l'Observatoire Européen des Drogues et Toxicomanies et de l'Observatoire Français des Drogues et Toxicomanies sur la présence de plus en plus importante des nouveaux produits de synthèse dans les usages toxicomaniaques.

4. Conclusion

Les nouveaux produits psychotropes de synthèse sont responsables chez les utilisateurs de nouvelles pathologies et de complications parfois létales, qui interpellent la santé publique et la médecine légale tout comme le monde judiciaire également concerné par les nouveaux modes d'approvisionnement où Internet tend à prendre une place de plus en plus prégnante. Ces nouvelles substances posent également un problème d'identification. En effet, les méthodes classiques de dépistage (immunologiques le plus souvent) des stupéfiants « traditionnels », (cannabis, héroïne, cocaïne, amphétamines), s'avèrent totalement inadaptées pour la recherche de ces nouvelles substances. Seules, des méthodologies plus performantes telles que la chromatographie couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS, LC-MS, LC-MS/MS, LC-Q-TOF...) sont à même de permettre une recherche, une identification et une quantification de ces nouvelles drogues. Depuis Orfila, l'analyse toxicologique, bien que de plus en plus performante, doit cependant continuer à s'adapter pour répondre aux défis posés par la mise sur le marché de produits psychotropes de plus en plus puissants.

Liens d'intérêts : les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts avec le contenu de cet article.

Références

- [1] Henderson GL. Designer drugs: Past History and Future Prospects. J Forensic Sciences 1988 Vol 33, N°2, March: 569-75.
- [2] Debruyne D, Le Boisselier R. Emerging drugs of abuse: current perspectives on synthetic cannabinoids. Subst Abuse Rehabil. 2015 Oct 20;6:113-29.
- [3] Karila L, Megarbane B, Cottencin O et al. Synthetic cathinones: a new public health problem. Curr Neuropharmacology. 2015 Jan;13(1):12-20.
- [4] Sitte HH, Freissmuth M. Amphetamines, new psychoactive drugs and the monoamine transporter cycle. Trends Pharmacology Sci. 2015 Jan;36(1):41-50.
- [5] Namera A, Kawamura M, Nakamoto A et al. Comprehensive review of the detection methods for synthetic cannabinoids and cathinones. Forensic Toxicol. 2015;33(2):175-194.
- [6] Observatoire européen des drogues et toxicomanies. (OEDT) Rapport européen sur les drogues, tendances et évolutions. 2015. 86 pages. www.emcdda.europa.eu/system/files/publications/974/TDAT15001FRN.pdf
- [7] Observatoire français des drogues et toxicomanies (OFDT) Nouveaux produits de synthèse identifiés en France depuis 2000. Note d'information SINTES. Actualisée le 1^{er} juin 2015. www.ofdt.fr/BDD/sintes/ir_140831_nps.pdf
- [8] Łukasik-Glebocka M, Sommerfeld K, Tezyk A et al. Flubromazolam - A new life-threatening designer benzodiazepine. Clin Toxically (Phila). 2016 Jan;54(1):66-8.
- [9] European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction. Perspectives on drugs. Synthetic cannabinoids. May, 22, 2015, 7 pages. www.emcdda.europa.eu/attachements.cfm/att_212361_EN EMCDDA_POD_2013_Synthetic%20cannabinoids.pdf
- [10] Baumann MH, Solis E Jr, Watterson LR et al. Baths salts, spice, and related designer drugs: the science behind the headlines. J Neurosci. 2014 Nov 12;34(46):15150-8.
- [11] Gouille JP. Note personnelle et Lettre du CNPERT N°41, février 2016
- [12] Müller HH, Kornhuber J, Sperling W. The behavioral profile of spice and synthetic cannabinoids in humans. Brain Res Bull. 2015 Nov 6. pii: S0361-9230(15)30052-6.
- [13] Von Der Haar J, Talebi S, Ghobadi F et al. Synthetic Cannabinoids and Their Effects on the Cardiovascular System. J Emerg Med. 2016 Feb;50(2):258-62.
- [14] Weaver MF, Hopper JA, Gunderson EW. Designer drugs 2015: assessment and management. Addict Sci Clin Pract. 2015 Mar 25;10:8.
- [15] Giacoppo S, Mandolino G, Galuppo M et al. Cannabinoids: new promising agents in the treatment of neurological diseases. Molecules. 2014 Nov 17;19(11):18781-816.

DROIT DES CONTRATS

Copie électronique

La réforme du droit des contrats, que nous avons analysée dans les précédents numéros de RFL, a donné à la copie d'un acte la même force probante que l'original, que ce dernier ait ou non été conservé.

Cette réforme a, entre autres, engendré **une modification importante de régime de la preuve électronique**. Comme le souligne le ministère de la justice :

« Tenant compte de l'évolution des nouvelles technologies, l'ordonnance renforce le principe selon lequel une copie fiable, en particulier lorsqu'elle est réalisée sur support électronique, a la même force probante que l'original. La réforme inscrit ainsi pleinement le droit français dans l'ère numérique. »

L'article 1379 nouveau du Code civil établit qu'une copie qualifiée de « fiable » aura la même force probante qu'un écrit original et ce peu importe la survivance ou non de ce dernier. Désormais, une partie ne pourra plus se voir contrainte de fournir une preuve papier lorsqu'elle aura numérisé au préalable le document en cause et qu'elle produit cette copie.

L'évaluation du critère de fiabilité d'une copie est laissée à l'appréciation du juge. Cependant, l'article 1379 introduit **deux présomptions**.

La première postule de manière irréfragable le caractère fiable d'une copie exécutoire ou authentique d'un écrit lui-même authentique. On comprend que la qualité nécessaire de l'auteur d'une copie authentique, tel un notaire, justifie cette présomption.

La seconde présomption, qui ne vaut, elle, que jusqu'à preuve du contraire, vise la fiabilité des autres types de copies. Selon le rapport relatif à l'ordonnance, celles-ci seront présumées fiables dès lors que deux critères seront cumulativement réunis. Il faut tout d'abord une reproduction à l'identique de la forme et du contenu de l'acte (critère de fidélité) et il faut ensuite que l'intégrité de la copie ait été garantie dans le temps (critère de durabilité) via une méthode établie par décret.

Ces conditions viennent d'être fixées par un décret du 5 décembre 2016*, ce qui permet l'entrée en vigueur du dispositif le 7 décembre 2016.

La présomption de fiabilité vaut en premier lieu pour la copie résultant d'un procédé de reproduction qui entraîne une modification irréversible du support de la copie. **Elle vaut aussi pour la reproduction par voie électronique** dans la mesure où le procédé utilisé répond à **certaines exigences**, notamment :

- il produit des informations liées à la copie et permettant son identification et sa datation ;
- par une empreinte électronique, il garantit que toute modification ultérieure de la copie est détectable, cette condition étant présumée remplie par l'usage d'un horodatage qualifié, d'un cachet électronique qualifié ou d'une signature électronique qualifiée, au sens du règlement UE 910/2014 du 23 juillet 2014 ;



- il permet la conservation de la copie électronique dans des conditions propres à éviter toute altération de sa forme ou de son contenu ;
- l'accès aux dispositifs de reproduction et de conservation fait l'objet de mesures de sécurité

Afin de permettre à une copie électronique de survivre aux évolutions technologiques, le décret précise que les opérations requises pour qu'elle demeure lisible dans le temps ne constituent pas une altération de son contenu ou de sa forme si elles sont tracées et donnent lieu à la génération d'une nouvelle empreinte électronique de la copie.

Les modifications apportées par l'ordonnance et le présent décret permettent, d'une part, de pérenniser la force probante de la copie malgré les évolutions de la technologie et, d'autre part, d'alléger l'archivage des actes dans les entreprises. Toutefois, la copie électronique bénéficie d'une simple présomption de fiabilité ; il est donc possible d'apporter la preuve qu'elle n'est pas fiable même si les exigences du décret ont été respectées. Par ailleurs, si l'original subsiste, sa présentation peut toujours être exigée. ■■

*Décret 2016-1673 du 5-12-2016 : JO du 6-12 texte n° 61

RÉPONSES AUX QUESTIONS DU QCM (pages 96-97)

- | | | |
|---------|---------|-------------|
| 1. A | 6. A | 11. C |
| 2. A, C | 7. A | 12. A |
| 3. C | 8. A | 13. A |
| 4. A | 9. B, C | 14. A, B, C |
| 5. C | 10. A | |

DROIT DES SOCIÉTÉS

Loi Sapin II

La « loi Sapin II »*, relative à la transparence, à la lutte contre la corruption et à la modernisation de la vie économique a été publiée au Journal officiel du 10 décembre 2016.

Loi « fourre-tout », elle contient des mesures sur les lanceurs d'alerte, la lutte contre la corruption, sur la fiscalité, en droit bancaire et financier, en droit des assurances, en droit social, en droit de la concurrence, ainsi qu'en droit des sociétés, domaine qui fait l'objet de cet article quand il concerne les LBM.

Maintien des droits de vote double au profit de l'absorbante ou du bénéficiaire de la scission

Désormais lorsqu'une société qui détient des droits de vote double dans une société tierce est absorbée ou scindée, ces droits de vote double sont maintenus au profit de la société absorbante, la société bénéficiaire de la scission ou la société nouvelle résultant de l'opération de fusion ou de scission.

Ces dispositions entreront en vigueur dans un délai de six mois à compter de la publication de la loi, soit à compter du 10 juin 2017.

Attention donc aux équilibres de vote dans les regroupements.

Rationalisation des obligations d'information dans les sociétés par actions

Les sociétés commerciales, et notamment les sociétés par actions, sont tenues à des obligations de publication annuelle qui les soumettent à une lourde charge administrative, spécialement pour les sociétés de taille modeste. De plus, des redondances existent entre le rapport du président du conseil d'administration ou du conseil de surveillance et le rapport de gestion. Les mêmes données peuvent donc être publiées plusieurs fois, dans différents rapports.

L'article 136 de la loi vise ainsi à rationaliser les obligations de reporting, en habilitant le Gouvernement à procéder, par voie d'ordonnance, à :

- simplifier, réorganiser et moderniser les informations devant figurer dans le rapport de gestion, ainsi que les informations figurant dans le rapport du président du conseil d'administration ;
- autoriser, dans un délai de deux ans, le dépôt des comptes annuels sous une forme dématérialisée automatiquement exploitable par traitement informatique pour les SARL, pour les sociétés par actions et pour les sociétés en nom collectif (SNC) dont les associés sont des SARL ou des sociétés par actions ;
- alléger le contenu du rapport de gestion pour les petites entreprises ne dépassant pas les seuils d'au moins deux des trois critères suivants : total de bilan de 4 M€, chiffre d'affaires de 8 M€ et 50 salariés.

Le Gouvernement dispose de douze mois, à compter de la promulgation de la loi, pour prendre par ordonnance ces mesures.

Suppression de l'exigence d'unanimité pour l'adoption ou la modification des clauses d'agrément dans les SAS

L'article 141 de la loi autorise le Gouvernement à adopter par ordonnance la règle permettant de supprimer l'exigence d'un accord unanime des associés d'une société par actions simplifiée en cas d'adoption ou de modification d'une clause soumettant toute cession d'actions à l'agrément préalable de la société.

Dépôt de projets de résolution ou de points à l'ordre du jour par les associés des SARL

L'article 141 de la loi habilite également le Gouvernement à prendre par ordonnance les mesures permettant aux associés d'une SARL de déposer des projets de résolution ou des points à l'ordre du jour d'une assemblée, sous réserve qu'ils représentent individuellement ou ensemble une fraction minimale du capital de la société.

Tenue des assemblées générales par recours exclusif aux moyens de visioconférence ou de télécommunication

L'article 141 de la loi habilite le Gouvernement à prendre par ordonnance une disposition autorisant les sociétés non cotées à prévoir la tenue des assemblées générales ordinaires et extraordinaires par recours exclusif aux moyens de visioconférence ou de télécommunication, tout en préservant la faculté pour les actionnaires de demander, dans certaines conditions, la convocation d'une assemblée générale physique.

Alignement du régime des SA dualistes sur celui des SA monistes en matière d'autorisations préalables

Application immédiate.

Dans les SA à conseil d'administration la cession d'immeubles par nature, la cession totale ou partielle de participations ainsi que la constitution de sûretés, ne sont soumises à aucune autorisation préalable. En revanche, dans les SA à directoire et à conseil de surveillance, ces mêmes opérations étaient jusqu'ici soumises à l'autorisation du conseil de surveillance.

L'article 142 de la loi nouvelle entend harmoniser le régime des sociétés monistes et dualistes en supprimant l'autorisation qui était exigée dans les secondes. Dorénavant, dans les deux types de SA, seuls les cautions, avals et garanties (sauf dans les sociétés exploitant un établissement bancaire ou financier) continueront de faire l'objet d'une autorisation du conseil d'administration ou du conseil de surveillance.

Renforcement des pouvoirs du conseil d'administration ou du conseil de surveillance des SA : possibilité de déplacer le siège social sur l'ensemble du territoire français

Application immédiate.

En l'état du droit en vigueur avant la loi Sapin II le conseil d'administration ou le conseil de surveillance était habilité à déplacer le siège de la société uniquement dans le même département ou dans un département limitrophe, et ce, sous réserve de la ratification de cette décision par la prochaine assemblée générale ordinaire. L'article 142 de la loi nouvelle étend cette prérogative à l'ensemble du territoire français, sous réserve, toujours, de soumettre cette décision à une délibération ultérieure des actionnaires.

À cet égard, le conseil d'administration ou le conseil de surveillance aura la possibilité d'apporter « *les modifications nécessaires aux statuts pour les mettre en conformité avec les dispositions législatives et réglementaires* ». Ces modifications supposeront toutefois une délégation préalable de l'assemblée générale, et devront ensuite être ratifiées par l'assemblée générale extraordinaire suivant leur adoption.

Obligation d'information du commissaire aux comptes sur les conventions réglementées autorisées et conclues dans les SA

Application
immédiate.

Jusqu'alors la procédure des conventions réglementées imposait au conseil d'administration ou au conseil de surveillance de donner une autorisation préalable à la signature d'une convention entre la société et son directeur général, l'un de ses directeurs généraux délégués, l'un de ses administrateurs, l'un des membres du directoire ou du conseil de surveillance l'un de ses actionnaires disposant d'une fraction des droits de vote supérieure à 10 % ou, s'il s'agit d'une société actionnaire, la société contrôlant celle-ci. En cas d'autorisation préalable du conseil, le commissaire aux comptes devait ensuite donner un avis sur la convention conclue. Enfin, l'assemblée générale était appelée à approuver la convention.

Afin de clarifier cette procédure, l'article 142 de la loi vient préciser que l'obligation d'informer le commissaire aux comptes, qui incombe au président du conseil d'administration ou au conseil de surveillance, ne concerne que les conventions réglementées autorisées et conclues. En effet, si ceci se déduisait déjà de l'article R. 225-30 qui précise que l'information doit intervenir « *dans le délai d'un mois à compter de la conclusion de ces conventions et engagements* », la loi, pour sa part, était porteuse d'une incertitude aujourd'hui levée.

Demande amiable de retrait des souscripteurs d'actions d'une SA non créée

Application
immédiate.

L'article L. 225-11 du Code de commerce permettait aux souscripteurs des actions d'une SA nouvelle d'obtenir la restitution de leurs fonds s'il advenait que la société n'était pas créée dans les six mois suivants le dépôt du projet de statuts au greffe. Tout souscripteur pouvait alors demander en justice la nomination d'un mandataire chargé de retirer les fonds pour les restituer aux souscripteurs, sous déduction des frais de répartition.

Désormais, comme en matière de SARL, les souscripteurs peuvent agir si la société n'est pas constituée dans le délai de six mois à compter du « premier dépôt de fonds ou si elle n'est pas immatriculée au registre du commerce et des sociétés, dans le même délai ».

Surtout, les souscripteurs n'ont plus à passer par la voie judiciaire : ils peuvent désormais demander directement le retrait des fonds au dépositaire par un mandataire représentant l'ensemble des souscripteurs.

Dérogation au principe de désignation d'un commissaire aux apports en cas d'apports en nature dans les SAS

Application
immédiate.

L'article 130 de la loi modifie le régime de la SAS en matière d'apports en nature, auparavant identique à celui de

la SA, en le rapprochant de celui de la SARL. À la constitution de la SAS, les associés pourront ainsi décider à l'unanimité que le recours à un commissaire aux apports ne sera pas obligatoire, lorsque la valeur d'aucun apport en nature n'excède un montant fixé par décret et si la valeur totale de l'ensemble des apports en nature non soumis à l'évaluation d'un commissaire aux apports n'excède pas la moitié du capital.

La loi crée cependant un mécanisme de responsabilité des associés à l'égard des tiers dans cette hypothèse. Il est en effet prévu que lorsqu'il n'y a pas eu de commissaire aux apports ou lorsque la valeur retenue est différente de celle proposée par le commissaire aux apports, les associés seront solidairement responsables pendant cinq ans, à l'égard des tiers, de la valeur attribuée aux apports en nature lors de la constitution de la société.

Extension des dérogations au principe de désignation d'un commissaire aux apports aux apports en nature effectués en cours de vie sociale dans les SARL

Application
immédiate.

Comme on vient de le voir, l'article L. 223-9 du Code de commerce laisse la possibilité aux associés, lors de la création d'une SARL, de « *décider à l'unanimité que le recours à un commissaire aux apports ne sera pas obligatoire, lorsque la valeur d'aucun apport en nature n'excède un montant fixé par décret et si la valeur totale de l'ensemble des apports en nature non soumis à l'évaluation d'un commissaire aux apports n'excède pas la moitié du capital* ». Dans le cas où un commissaire aux apports ne serait pas intervenu, les associés sont solidairement responsables vis-à-vis des tiers de la valeur des apports retenue à la constitution de la société, et ce pour une durée de cinq ans.

L'article 144 de la loi étend aux apports en nature réalisés en cours de vie sociale cette dérogation à la désignation obligatoire d'un commissaire aux apports.

Procédures collectives : atténuation de la responsabilité du dirigeant pour insuffisance d'actif

Application
immédiate.

En l'état du droit antérieur, l'article L. 651-2 du Code de commerce relatif à la responsabilité du dirigeant en cas d'insuffisance d'actif prévoyait, en cas de faute de gestion ayant contribué à l'insuffisance d'actif, que le ou les dirigeants responsables puissent être condamnés à supporter, en tout ou en partie, le montant de cette insuffisance d'actif. Ceux-ci pouvaient en outre être condamnés au titre de leur faute de gestion à des sanctions telles qu'une interdiction de gérer.

L'article 146 de la loi, dans un objectif d'encouragement de l'entrepreneuriat, vient assouplir les modalités de l'engagement de la responsabilité du dirigeant en ajoutant qu'« *en cas de simple négligence du dirigeant de droit ou de fait dans la gestion de la société, sa responsabilité au titre de l'insuffisance d'actif ne peut être engagée* ». ■■

*Loi 2016-1691 du 9-12-2016

DROIT DU TRAVAIL

Insuffisance professionnelle – mauvaise volonté

Selon une jurisprudence constante de la Cour de cassation, l'insuffisance professionnelle n'est pas fautive. À la différence de la faute professionnelle, elle résulte en effet d'un comportement involontaire du salarié.

L'employeur qui reproche à un salarié la mauvaise qualité de son travail ne doit donc en aucun cas prononcer un licenciement pour faute.

En effet, s'il se place sur le terrain disciplinaire, le licenciement sera automatiquement jugé sans cause réelle et sérieuse. Si toutefois l'employeur établit que les erreurs commises par le salarié résultent d'une abstention volontaire ou d'une mauvaise volonté délibérée, il peut prononcer un licenciement pour faute. C'est ce que rappelle la Cour de cassation dans deux décisions du 27 novembre 2013*.

Dans la première affaire, le directeur d'une usine avait été licencié pour faute grave. L'employeur lui reprochait notamment sa mauvaise gestion de l'usine, son inexpérience en matière commerciale et son manque de communication envers les équipes. Les juges saisis du litige ont considéré que ces manquements étaient bien établis, mais n'étaient pas intentionnels. **Ils relevaient d'une insuffisance professionnelle du salarié, et non d'une faute.** En conséquence, le licenciement a été jugé dépourvu de cause réelle et sérieuse, et l'employeur a dû indemniser l'intéressé.

Dans la seconde affaire, une secrétaire de direction contestait son licenciement, prononcé pour faute grave, en faisant valoir



© marimbh/Fotolia.com

que l'exécution défectueuse du travail qui lui était reprochée procédait de son insuffisance professionnelle. Les juges lui donnent tort, après avoir relevé des négligences dans le suivi des dossiers et des erreurs répétées. Ils ont en effet considéré que la salariée avait fait preuve de **mauvaise volonté**, justifiant le licenciement disciplinaire.

Ainsi, l'incompétence d'un salarié ne peut justifier un licenciement disciplinaire que si elle procède d'une abstention volontaire ou d'une mauvaise volonté délibérée. ■■

*Cass. soc. 27 novembre 2013 n° 11-22.449, Sté des Eaux de Saint-Géron c/ Y.- Cass. soc. 27 novembre 2013 n° 12-19.898, H. c/ Sté Technopolis

TEXTES JURIDIQUES

Ministère des Affaires sociales et de la Santé
(JO du 14/12/2016)

Arrêté du 12 décembre 2016 modifiant l'arrêté du 7 novembre 2016 portant approbation de l'avenant n° 5 à la convention nationale organisant les rapports entre les directeurs de laboratoires privés d'analyse médicale et l'assurance maladie

Texte accessible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033586120&dateTexte=&categorieLien=id>

Ministère du travail, de l'emploi, de la formation professionnelle et du dialogue social (JO du 19/11/2016)

Décret n° 2016-1554 du 18 novembre 2016 relatif au congé de proche aidant

Texte accessible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033421088&dateTexte=&categorieLien=id> [Décret pris dans le cadre de la Loi de l'adaptation de la société au vieillissement]

Ministère des Affaires sociales et de la Santé (JO du 22/11/2016)

Arrêté du 15 novembre 2016 portant modification des conditions d'inscription des systèmes de télésurveillance pour défibrillateurs cardiaques implantables simple, double et triple chambre au chapitre 4 du titre III de la liste des produits et prestations remboursables prévue à l'article L. 165-1 du code de la sécurité sociale

Texte accessible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033440791&dateTexte=&categorieLien=id> [Surveillance à distance des défibrillateurs des patients ne pouvant se déplacer inscrite enfin à la LPPR]

Arrêté du 16 novembre 2016 portant inscription des endoprothèses à libération de principe actif PROMUS PREMIER MONORAIL BTK et PROMUS PREMIER OVER THE WIRE BTK de la société BOSTON SCIENTIFIC SAS au titre III de la liste des produits et prestations remboursables prévue à l'article L. 165-1 du code de la sécurité sociale

Texte accessible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033440809&dateTexte=&categorieLien=id> [idem pour les stents enduits d'un anti-resténose]

Décision du 10 octobre 2016 portant renouvellement d'autorisation de protocole de recherche sur les cellules souches embryonnaires humaines en application des dispositions de l'article L. 2151-5 du code de la santé publique

Texte accessible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033440835&dateTexte=&categorieLien=id>

Ministère des Affaires sociales et de la Santé (JO du 23/11/2016)

Arrêté du 18 novembre 2016 portant agrément et renouvellement d'agrément national des associations et unions d'associations représentant les usagers dans les instances hospitalières ou de santé publique

Texte accessible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033451782&dateTexte=&categorieLien=id>

Ministère des Affaires sociales et de la Santé (JO du 24/11/2016)

Arrêté du 14 novembre 2016 relatif à la contribution des régimes obligatoires d'assurance maladie au financement des agences régionales de santé pour l'année 2016

Texte accessible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033463661&dateTexte=&categorieLien=id> [Les trois régimes de la Sécu contribuent à financer les ARS].

Arrêté du 14 novembre 2016 relatif au livret de formation du diplôme d'État d'accompagnant éducatif et social

Texte accessible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033463669&dateTexte=&categorieLien=id>

Arrêté du 22 novembre 2016 modifiant la liste des spécialités pharmaceutiques prises en charge en sus des prestations d'hospitalisation mentionnée à l'article L. 162-22-7 du code de la sécurité sociale

Texte accessible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033463725&dateTexte=&categorieLien=id> [Concerné les multi-indications de Humira® (adalimumab, Laboratoire Abbvie), atteintes articulaires inflammatoires, Crohn].

Ministère des Affaires sociales et de la Santé (JO du 26/11/2016)

Décret n° 2016-1590 du 24 novembre 2016 modifiant le code de la santé publique et relatif aux déchets assimilés à des déchets d'activités de soins à risques infectieux et aux appareils de prétraitement par désinfection

Texte accessible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033478370&dateTexte=&categorieLien=id> [Les DASRI au Code de la santé publique]

Ministère des Affaires sociales et de la Santé (JO du 27/11/2016)

Décret n° 2016-1605 du 25 novembre 2016 portant code de déontologie des infirmiers

<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033479578&dateTexte=&categorieLien=id>

Décret n° 2016-1606 du 25 novembre 2016 relatif à la déclaration des événements indésirables graves associés à des soins et aux structures régionales d'appui à la qualité des soins et à la sécurité des patients

Texte accessible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033479591&dateTexte=&categorieLien=id>

Ministère des Affaires sociales et de la Santé (JO du 30/11/2016)

Décret n° 2016-1621 du 28 novembre 2016 relatif à la stratégie nationale de santé

<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033501153&dateTexte=&categorieLien=id>

Texte accessible sur:

Décret n° 2016-1622 du 29 novembre 2016 relatif aux dispositifs de biovigilance et de vigilance en assistance médicale à la procréation

<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033501185&dateTexte=&categorieLien=id>

Ministère des Affaires sociales et de la Santé (JO du 1/12/2016)

Arrêté du 23 novembre 2016 fixant le modèle de rapport d'activité et de performance devant être fourni au directeur général de l'agence régionale de santé et à l'Agence nationale de santé publique par les centres gratuits d'information, de dépistage et de diagnostic des infections par les virus de l'immunodéficience humaine et des hépatites virales et des infections sexuellement transmissibles (CeGIDD)

Texte accessible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033501185&dateTexte=&categorieLien=id> [Les ARS, « comptables » des performances du dépistage de l'infection à VIH]

Arrêté du 28 novembre 2016 relatif aux bonnes pratiques de dispensation des médicaments dans les pharmacies d'officine, les pharmacies mutualistes et les pharmacies de secours minières, mentionnées à l'article L. 5121-5 du code de la santé publique

Texte accessible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033507633&dateTexte=&categorieLien=id> [Bonnes pratiques professionnelles: pour les pharmaciens aussi]

Arrêté du 28 novembre 2016 relatif aux règles techniques applicables aux sites internet de commerce électronique de médicaments prévues à l'article L. 5125-39 du code de la santé publique

Texte accessible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033507693&dateTexte=&categorieLien=id> [Achat de médicaments via Internet: des règles impératives pour les pharmacies]

Ministère des Affaires sociales et de la Santé (JO du 2/12/2016)

Arrêté du 25 novembre 2016 fixant le cahier des charges de définition de l'équipe de soins visée au 3° de l'article L. 1110-12 du code de la santé publique

Texte accessible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033511583&dateTexte=&categorieLien=id>

Ministère de l'Agriculture (JO du 2/12/2016)

Arrêté du 1^{er} décembre 2016 modifiant l'arrêté du 16 mars 2016 relatif aux niveaux de risque épidémiologique en raison de l'infection de l'avifaune par un virus de l'influenza aviaire hautement pathogène et aux dispositifs associés de surveillance et de prévention chez les volailles et autres oiseaux captifs

Texte accessible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000033511766&dateTexte=&categorieLien=id>

ÉCHOS PARLEMENTAIRES

Récupération de données informatiques en cas de décès

Mme Jacky Deromedi (sénatrice des Français établis hors de France) attire l'attention du Mme la, ministre de la Justice sur le fait que les documents et données publics et privés (fisc, sécurité sociale, banques, crédits, documents familiaux, contrats) nécessaires à la vie des citoyens se présentent, de plus en plus, sous forme électronique et sont conservés sur différents serveurs ou unités de stockage. On assiste ainsi à un développement de ces différentes formes de stockage de documents et données dont l'accès suppose l'indication d'un identifiant et d'un mot de passe. Or un problème se pose en cas de décès d'une personne ayant stocké documents et informations sans communiquer à sa famille ou à ses héritiers, à un avocat ou un notaire, voire aux responsables de l'entreprise dont elle est propriétaire les identifiants et codes d'accès. Comment résoudre cette difficulté pour que les personnes habilitées, tels les notaires, puissent récupérer les données informatiques nécessaires à une succession.

Réponse du ministère de la Justice : avec le développement de l'internet et des réseaux sociaux, les données personnelles mises en ligne se développent, et la gestion de ces données post-mortem

peut soulever des difficultés, les héritiers n'en ayant pas nécessairement connaissance. L'absence de législation claire en la matière a conduit à des pratiques différentes selon les acteurs, certains supprimant purement et simplement les comptes, tandis que d'autres refusent tout accès aux héritiers. Face à ce flou juridique, une intervention du législateur est apparue nécessaire.

Tel est l'objet de l'article 63 de la *Loi pour une République numérique* (7/10/2016) qui, tout en posant comme principe que les droits du défunt s'éteignent au décès de leur titulaire, prévoit, par exception, qu'ils peuvent cependant être provisoirement maintenus dans deux cas : d'une part, si le défunt a pris des directives permettant à toute personne, de son vivant, d'organiser les conditions de conservation, d'effacement et de communication de ses données à caractère personnel après son décès ; d'autre part, en l'absence de directives, lorsque cela est nécessaire pour le règlement de la succession, pour recevoir communication des biens numériques ou des données s'apparentant à des souvenirs de famille, s'ils sont transmissibles. La loi précise par ailleurs que les héritiers peuvent clôturer des comptes utilisateurs, s'opposer à la poursuite du traitement des données à caractère personnel du défunt ou faire procéder à leur mise à jour.

Ces nouvelles dispositions assurent donc désormais, dans le respect du principe d'intransmissibilité des droits personnels, la survie, autant que nécessaire, des données personnelles du défunt. ■■

J.-M. M.

Inquiétudes pour le don de sang

Inquiétudes exprimées par Laurence Cohen, sénatrice, auprès du ministère de la Santé, au sujet des craintes de nombreuses organisations pour le don de sang bénévole et gratuit.

En France, un demi-million de patients sont traités chaque année par des médicaments dérivés du sang. Depuis 2007, les besoins en plasma ont crû de plus de 30 %. Or, un nouveau produit, Octaplas, va être distribué prochainement dans les hôpitaux. Ce produit de la firme multinationale Octapharma va entrer en concurrence avec les plasmas éthiques de l'EFS.

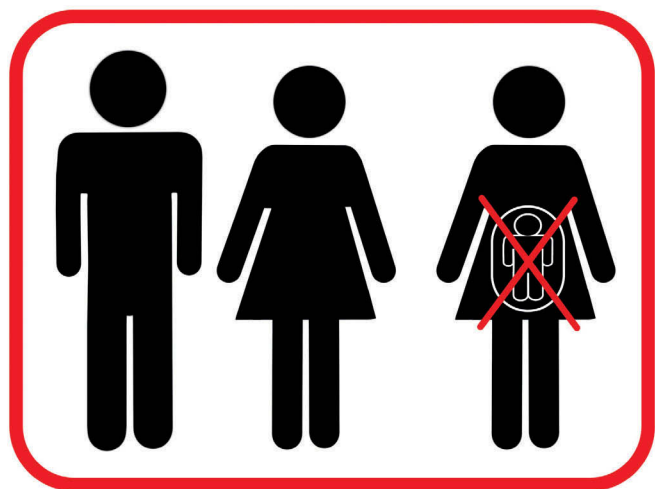
Selon le rapport de l'IGAS (n° 2010-089P), aucun dispositif n'existe dans nos institutions sanitaires pour contrôler l'origine des poches de plasma entrant dans la fabrication du plasma SD. Le Code de la santé publique indique que les produits du corps humain distribués en France doivent être exclusivement issus de dons bénévoles. Le service public du sang dont l'EFS est le garant est mis à mal depuis plusieurs années par des intérêts financiers qui voient la commercialisation du sang comme une affaire extrêmement rentable.

Au regard des questions éthiques, de traçabilité, et de sécurité sanitaire, la parlementaire demande si on entend suspendre l'autorisation d'Octaplas, tant que son origine n'aura pas été vérifiée et certifiée : quelles mesures seront mises en place pour préserver un don du sang éthique et gratuit.

La réponse du ministère de la Santé (1/12/2016) est brève : en France, le don de sang et de composants sanguins est soumis aux principes éthiques listés à l'article L. 1221-3 du Code de la santé publique, imposant notamment la prohibition de toute rémunération, il n'y a aucune remise en cause de ces principes éthiques dans les projets en cours. L'EFS a cessé, dès 2015, la production de plasma dans laquelle intervient un processus industriel au profit de plasma sécurisé par quarantaine et de plasma inactivé par Amotosalen (dit plasma-IA). Le plasma SD dans la production duquel intervient un processus industriel, désormais considéré comme un médicament, a obtenu de l'ANSM son autorisation de mise sur le marché le 2/2/2016 et respecte l'ensemble de nos principes éthiques. ■■

J.-M. M.





© Nastasia Froloff/fotolia.com

Proposition de loi: contre la GPA

Cette proposition de loi a été déposée au Sénat par 28 parlementaires, visant à *lutter* contre les démarches engagées à l'étranger par des Français pour obtenir une gestation pour autrui.

En matière de bioéthique, dit l'argumentaire, notre droit repose sur deux grands principes (article 16 du Code civil) confirmés par la jurisprudence, la dignité de la personne et l'indisponibilité du corps humain: ce n'est pas une marchandise et il ne peut se vendre, s'acheter ou se louer.

C'est en vertu de ce principe d'indisponibilité que la GPA est interdite en France: l'article 16-7 du Code civil dispose que *toute convention portant sur la procréation ou la gestation pour le compte d'autrui est nulle*.

Fin janvier 2013, du ministère de la Justice a rédigé une circulaire pour faciliter la délivrance de certificats de nationalité française aux enfants conçus par GPA à l'étranger.

La Cour de cassation a rendu des nombreux arrêts qui vont à l'encontre de cette circulaire, elle confirme qu'en l'état du droit, il est justifié de refuser la transcription d'un acte de naissance établi à l'étranger *lorsque la naissance est l'aboutissement, en fraude à la loi française, d'un processus d'ensemble comportant une convention de gestation pour le compte d'autrui, convention qui, fut-elle licite à l'étranger, est nulle en droit français*.

Fin juin 2014, la Cour européenne des droits de l'homme (CEDH) a estimé que le refus de la France de transcrire des actes de filiation réalisés aux États-Unis à la suite de naissance par mère porteuse porte atteinte à l'identité des enfants.

Cette nouvelle disposition risque de faciliter le recours à la pratique de la GPA. Les couples qui, contre rémunération, l'auront obtenue à l'étranger pourront légaliser la situation de l'enfant. Si l'on souhaite s'opposer aux contrats de *mères porteuses*, dont l'enfant est l'objet du contrat, niant ainsi son statut de personne humaine, il convient de renforcer notre dispositif législatif de lutte contre cette pratique.

Le texte présenté par les sénateurs renforce les sanctions à l'encontre des agences qui organisent ce *trafic d'être humain*, en augmentant les peines prévues par la loi et prévoit des sanctions lorsque les délits sont commis à l'étranger par un Français.

La proposition de loi comporte un article unique qui modifie l'article 227-12 du Code pénal.

1 - Au premier alinéa, les mots: « de six mois » sont remplacés par les mots: « de trois ans » et le montant: « 7 500 euros » est remplacé par le montant: « 45 000 € » ;

2 - Au deuxième alinéa, les mots: « d'un an » sont remplacés par les mots: « de cinq ans » et le montant: « 15 000 euros » est remplacé par le montant: « 75 000 € » ;

3 - Il est ajouté un alinéa ainsi rédigé: « Lorsque les délits prévus au présent article sont commis à l'étranger par un Français ou par une personne résidant habituellement sur le territoire français, la loi pénale française est applicable par dérogation au deuxième alinéa de l'article 113-6, et la seconde phrase de l'article 113-8 n'est pas applicable. » ■■

J.-M. M.

Dépistage de la tuberculose bovine en Côte-d'Or

M. Alain Houpert, sénateur de la Côte-d'Or, attire l'attention du ministère sur le dépistage de la tuberculose bovine en Côte-d'Or, maladie dont le germe peut être rémanent dans le sol, ce qui rend pratiquement impossible son éradication. En Côte-d'Or, on multiplie les tests interféron gamma et l'intradermotuberculation comparative (IDC) dans les élevages et les bovins suspects sont abattus. Les élevages déclarés foyers subissent un abattage total ou partiel.

Mais cela n'empêche pas le retour de la maladie car elle se retrouve dans l'environnement: sols, eaux, faune sauvage. Compte tenu de la limite des tests actuels, elle reste difficile à déceler. Les éleveurs ne supportent plus l'abattage des bêtes, voire du cheptel total. Ils demandent que les bêtes réactives au test, classées comme *douteuses* ou *non conclusives* soient épargnées, ils ne veulent plus être obligés d'éliminer des bovins suspects en gestation et souhaitent que ceux-ci soient laissés en vie jusqu'au sevrage de leurs veaux (6 à 8 mois), à condition de leur isolement total. De plus, les mesures de dépistage en Côte-d'Or sont ressenties comme *injustes*, car d'un département à l'autre, examens et méthodes varient.



© Olha Rohulya/fotolia.com

Quelles dispositions compte prendre le gouvernement pour qu'en France le dépistage de la tuberculose concerne l'ensemble du territoire avec les mêmes exigences.

La tuberculose bovine est une zoonose, rappelle le ministère, une maladie transmissible à l'Homme, la bactérie infectant plusieurs espèces de ruminants, domestiques et sauvages, mais aussi les sangliers et les blaireaux.

La lutte est complexe et doit concilier l'efficacité sanitaire, l'exigence de certifier le statut des bovins français selon les normes internationales et les contraintes logistiques et économiques. C'est l'objectif du plan national d'action permanent. La biosécurité est essentielle pour l'éradication de la maladie. À court terme, des mesures d'adaptation pour certains troupeaux suspects sont prévues.

Ainsi l'abattage n'est pas systématique pour les animaux présentant des résultats *douteux* ou *non conclusifs*, ils doivent faire l'objet de *recontrôles*, selon la directive européenne 64/432 et nos instructions nationales. Par ailleurs, des dispositions réglementaires vis-à-vis de la faune sauvage permettront de mieux encadrer les actions nécessaires. Enfin, à moyen terme, la stratégie consiste à aller vers une révision du contexte international.

Concernant les bovins gestants suspects, en cas de contexte épidémiologique défavorable et de dépistage, ils devront être abattus. Les veaux issus de troupeaux suspects pourraient être valorisés dans des circuits d'engraissement sécurisés : c'est aux professionnels de faire des propositions en ce sens à l'Administration. Les variations de gestion selon les départements s'expliquent par des adaptations selon leur situation épidémiologique, et d'après un schéma national coordonné par les Directions régionales de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt (DRAAF).

Au-delà de la lutte contre cette zoonose, le maintien du statut indemne de la France permet aux éleveurs de commercialiser les bovins dans le monde entier, ce qui justifie pour le bénéfice de tous des mesures de lutte renforcées dans les régions où sévit la maladie. ■■

J.-M. M.

Baisse des remboursements : le maintien à domicile en danger ?

Un nombre imposant de sénateurs a apostrophé le ministère des Affaires sociales et de la Santé concernant la proposition du Comité économique des produits de santé (CEPS) d'imposer autoritairement des baisses tarifaires sur certains produits et prestations de santé remboursés par la Sécurité sociale.

Le 5 août 2016, rappellent les sénateurs, le CEPS a publié un avis de projet annonçant de prochaines baisses tarifaires sur de nombreuses lignes de produits remboursés par la sécurité sociale et qui sont, pourtant, nécessaires au maintien à domicile de malades chroniques, personnes âgées ou encore handicapées. De plus, cela aura un impact financier qui ne sera pas sans conséquence puisque ces baisses de tarifs représentent un risque non négligeable pour la pérennité économique des entreprises concernées [celles des dispositifs médicaux]. D'où la proposition, à leur tour, des parlementaires : ne serait-il pas plus judicieux de suspendre cet avis de projet afin de mettre en place des propositions permettant d'allier maîtrise des dépenses de santé, qualité des prestations dispensées aux patients et pérennité de ces entreprises de proximité ?

Ces baisses de tarifs inquiètent vivement les professionnels et prestataires de santé à domicile car elles représentent un risque fort pour la pérennité économique de leurs entreprises et mettent en danger les salariés qu'elles emploient, plaident aussi les intervenants, ils estiment que cette décision représente *une fausse solution de maîtrise des dépenses de santé* puisqu'il est démontré que le soin à domicile permet d'économiser jusqu'à 40 % des coûts par rapport à la prise en charge en établissement. En outre, le principe de ces baisses tarifaires massives a été adopté sans aucune concertation préalable avec la profession.

C'est pourquoi les professionnels, appuyés par des parlementaires, sollicitent la suspension de la procédure en cours afin de leur permettre de construire de véritables propositions alliant nécessaire maîtrise des dépenses de santé, qualité des prestations dispensées aux patients et pérennité des entreprises de proximité.

Le CEPS est un organisme interministériel chargé par la loi de fixer les prix des médicaments et des dispositifs médicaux à usage individuel pris en charge par l'Assurance-Maladie :

il prévoit de diminuer les tarifs de produits et prestations remboursables nécessaires au maintien à domicile. Il semblerait que les acteurs du secteur n'aient pas été consultés alors que cela concerne au moins de 9 domaines : autosurveillance glycémique, auto-traitement du diabète, apnées du sommeil, prévention d'escarres, nutrition orale, nutrition entérale, stomies, incontinence, chaussures orthopédiques. Les professionnels et prestataires de santé à domicile sont donc inquiets pour leur activité économique, tandis que plusieurs associations de patients craignent un éventuel ajustement à la baisse des produits distribués. Si cette baisse devait être effective, elle priverait les patients d'une certaine qualité d'accompagnement et de produits, en même temps qu'elle mettrait en péril le secteur d'activité du maintien à domicile.

Si une économie de plus de 180 millions d'euros se conçoit, comment assurer un juste équilibre entre la qualité des soins à domicile nécessaire au *virage ambulatoire* et la maîtrise des dépenses de santé.

Réponse (et recul) du ministère (3 novembre 2016) devant cette levée de boucliers : en août 2016, le CEPS avait engagé une procédure visant à baisser les tarifs de certains dispositifs médicaux (autosurveillance glycémique, nutrition clinique, etc.) après avoir constaté une évolution importante de certaines dépenses. La baisse annoncée a provoqué des inquiétudes. Le CEPS a engagé des négociations avec les organisations professionnelles concernées, qui ont permis d'aboutir à un accord conventionnel avec les représentants des fabricants de dispositifs et des prestataires de santé à domicile.

L'accord propose des baisses de prix bien inférieures à celles initialement demandées (!) pour 2016 et 2017. L'accord inclut également des clauses de volume et des mises à jour de la nomenclature. Au-delà, le ministère mènera avec les prestataires des groupes de travail sur la définition de leurs statuts comme acteurs de l'offre ambulatoire et sur leur intervention notamment concernant dialyse et perfusion à domicile. ■■

Jean-Marie Manus





Prise en charge en défaut des troubles autistiques

Corinne Imbert, sénatrice, attire l'attention du ministère de la Santé sur la prise en charge des troubles autistiques. Une enquête menée par le *Collectif Autisme* publiée en mars 2016 a montré des dysfonctionnements concernant notamment le diagnostic : des familles l'attendent 5 à 10 ans là où une prise en charge rapide est indispensable. De plus les moyens ne semblent pas à la hauteur de l'enjeu : le *Plan Autisme* prévoit de faire de la scolarisation des enfants autistes un objectif prioritaire, cependant il n'y a que 700 places supplémentaires prévues en Unités d'enseignement en maternelle jusqu'en 2017, alors que 8 000 enfants autistes naissent chaque année. Par ailleurs l'absence de remboursement des soins éducatifs et comportementaux est injustifiée et regrettable. Enfin se pose la question de la prise en charge médicale : la France a une approche singulière, alors que plusieurs pays déconseillent le recours à la psychanalyse. La HAS l'avait initialement classé dans les *interventions non recommandées ou non consentuelles* en 2012. Or les psychiatres ont obtenu en réaction une classification distincte. Il faut améliorer et moderniser la prise en charge de ces troubles !

La réponse du ministère interpellé porte essentiellement sur les structures d'accueil [en ignorant la question sur la psychiatrie-NDLR] : le programme 2008-2016 de création de places en établissements et services pour personnes handicapées comprend parmi ses objectifs... la réduction des listes d'attente. Les crédits ici représentent 1,45 milliard d'euros pour plus de 50 000 places nouvelles pour enfants et adultes handicapés. S'y ajoutent 10 000 places en établissements et services d'aide par le travail (ESAT) et les places créées par les conseils départementaux dans les établissements et services relevant de leur compétence (foyers, SAVS). Outre le plan pluriannuel de création de places en établissements et services médico-sociaux, le Plan Autisme 2013-2017 a prévu la création d'unités d'enseignement en écoles maternelles (UEM) pour faciliter la scolarisation des jeunes autistes en s'appuyant sur le déploiement d'interventions précoces, personnalisées et coordonnées telles que recommandées par la HAS.

Les nouvelles UEM permettront de mieux répondre aux besoins de ces très jeunes enfants. Dans les départements où les besoins sont les plus importants, il pourra y avoir deux UEM. L'évaluation confiée à l'IGAS du 3^e Plan Autisme 2013-2017 devrait être livrée en mars 2017. Un rapport de Denis Piveteau préconise une évolution majeure à la fois en matière d'orientation, d'évolution de l'offre d'accompagnement, de renforcement

de la représentation des usagers et des pratiques des professionnels, quel que soit leur secteur d'intervention. La démarche vise à ce que chaque personne dispose d'une solution concrète établie avec son accord. Pour cela, une évolution des pratiques de tous les acteurs s'impose (Maisons départementales des personnes handicapées, ARS, rectorats, conseils départementaux, gestionnaires d'établissements) : 24 départements sont entrés dans la démarche *Une réponse accompagnée pour tous* et le déploiement de cette approche sera progressif jusqu'au 1^{er} janvier 2018, date à laquelle l'article 89 de la loi n° 2016-41 du 26 janvier 2016 de modernisation du système de santé sera mis en œuvre sur l'ensemble du territoire. ■■

J.-M. M.

Toulouse en manque de généralistes

Sénatrice de Haute-Garonne, Brigitte Micoulean a attiré l'attention du ministère des Affaires sociales et de la Santé sur un phénomène récurrent : on manque de médecins généralistes aussi dans les agglomérations urbaines, ici dans l'agglomération toulousaine. Ainsi, une étude sur la démographie médicale, réalisée en avril 2016 par le Conseil départemental de l'Ordre des médecins de Haute-Garonne en partenariat avec l'ARS, l'Union régionale des professionnels de santé (URPS) et la Faculté de médecine de Toulouse, indique que le manque de généralistes ne concerne plus uniquement les zones rurales, déjà fortement touchées, mais également, et de manière inquiétante, l'aire urbaine de Toulouse. Tandis qu'entre 2007 et 2015, le nombre de généralistes a baissé de 15 % dans l'agglomération toulousaine, cette enquête a révélé que plus de 300 généralistes installés dans cette zone sont à 10 ans, tout au plus, d'un arrêt de leur activité - pour cause de retraite.



Si rien n'est fait d'ici là, l'ARS estime qu'il manquera alors plus de 200 médecins généralistes à Toulouse et dans son agglomération. De son côté, le président du Conseil départemental de l'Ordre des médecins de Haute-Garonne témoigne du fait qu'il reçoit « *tous les jours des appels au secours de médecins ne trouvant pas de successeur et toutes les semaines des courriers de patients qui ne trouvent pas de médecin traitant* ». Tous les quartiers de l'agglomération sont concernés, aussi bien les *quartiers sensibles* souffrant d'une certaine insécurité que le centre-ville où les prix de l'immobilier flambent. Les causes de cette pénurie future ne se limitent pas à des questions inhérentes aux quartiers.

Mais il semble aussi que les jeunes médecins soient de moins en moins enclins à s'installer en raison « d'une fibre libérale et entrepreneuriale insuffisamment encouragée et de réglementations trop complexes » ! La parlementaire aurait pu aussi évoquer la désaffection des jeunes pour la médecine générale (NDLR).

Face à ce constat inquiétant qui, au-delà de l'agglomération toulousaine, concerne d'autres zones urbaines en France, quelles mesures le gouvernement compte prendre pour éviter ce manque de généralistes en milieu urbain, déjà bien réel dans les zones rurales.

La réponse du secrétariat d'État, auprès du ministère des Affaires sociales et de la Santé, chargé des Personnes handicapées et de la Lutte contre l'exclusion, auquel la question a été transmise, est attendue. ■■

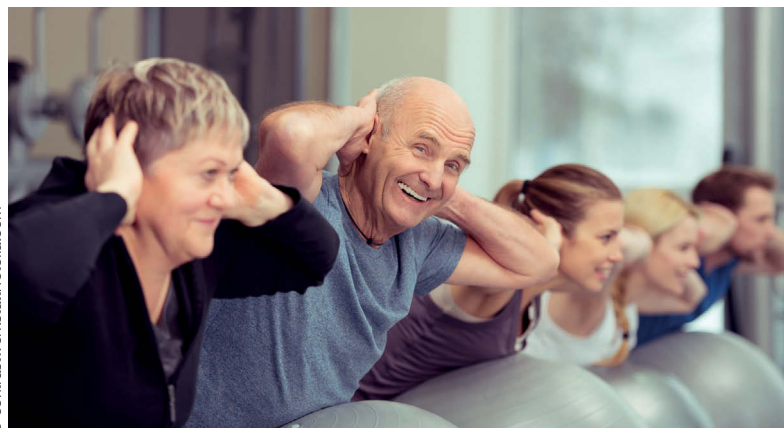
J.-M. M.

Prescrire le sport (adapté) aux patients en ALD

Question pertinente de Dominique Gillot, sénatrice, ancienne secrétaire d'État à la Santé, à l'actuel ministère de la Santé, à propos de « la mise en œuvre réglementaire de l'article 144 de la loi n° 2016-41 du 26/1/2016 de modernisation de notre système de santé ». Celui-ci prévoit que, en cas d'affection de longue durée (ALD), le médecin traitant puisse prescrire une activité physique adaptée à la pathologie, aux capacités physiques et au risque médical du patient. L'activité physique adaptée (APA) est actuellement en pleine expansion dans les diverses structures de soins sous la conduite d'enseignants en APA, formés à l'Université. L'enseignant en APA est essentiel pour permettre aux sujets ALD d'augmenter leur activité physique, vecteur avéré de *prévention tertiaire* (prévention avec la maladie-NDLR) et de réduction des coûts liés à la maladie. Avec un projet personnalisé de pratique physique l'APA rejoint l'éducation thérapeutique du patient et constitue un véritable enjeu de santé publique, et une solution *non-médicamenteuse* pour l'amélioration du quotidien de nos concitoyens, y compris les plus fragiles, en développant leur autonomie et leur insertion sociale. Conclusion, il faut s'assurer que la mise en œuvre de la *prescription du sport* prévoit bien une activité physique adaptée et que les plus fragiles sont pris en charge par des professionnels bien formés.

Réponse du ministère interpellé : la loi du 26 janvier 2016 de modernisation de notre système de santé prévoit en effet (article 144) la *prescription* médicale d'activités physiques adaptées dans le cadre du parcours de soins des patients en ALD. Les activités physiques adaptées sont dispensées dans des conditions prévues par un décret, qui fixera un socle de conditions d'application telles le niveau de formation requis et les compétences nécessaires aux professionnels qui vont accompagner les patients ALD dans leur pratique d'une activité physique adaptée, les conditions d'intervention pour accompagner les activités physiques adaptées, ainsi que les garanties d'hygiène et de sécurité.

Un groupe de travail de la Direction générale de la santé (DGS) doit élaborer un référentiel de compétences nécessaires pour accompagner les patients en fonction de leur histoire personnelle, leur pathologie et leur état clinique dans l'exercice en toute sécurité d'une APA bénéfique pour la santé. Ce référentiel sera fondé sur des éléments scientifiques validés.



© contrastwerkstatt/fotolia.com

Dans un second temps, le groupe analysera l'adéquation entre les programmes de formation initiale des professionnels de l'activité physique et sportive et les compétences requises pour prendre en charge les divers types de patients.

Ce groupe comprend des masseurs-kinésithérapeutes, des enseignants en APA dans le cadre de la formation en sciences et techniques des activités physiques et sportives (STAPS) et des éducateurs sportifs. Les conclusions et recommandations du groupe de travail seront reprises pour rédiger le décret d'application de l'article 144 de la loi de janvier 2016. ■■

J.-M. M.

Arrêt cardiaque : les gares parisiennes, facteur de risque

Les gares parisiennes s'équipent peu à peu de défibrillateurs cardiaques car il apparaît, selon la sénatrice Patricia Schillinger, que les arrêts cardiaques sont cinq fois plus nombreux dans les gares de la capitale, disait-elle au ministère de la Santé en avril 2015. Selon une étude de l'INSERM (7/4/2015), ce sont dans les 6 principales gares parisiennes (Montparnasse, Saint-Lazare, gare du Nord, gare de l'Est, gare de Lyon et gare d'Austerlitz) que les accidents sont les plus nombreux, alors que ces lieux, qui représentent moins de 1 % de la surface de Paris, concentrent 20 % du nombre total des arrêts cardiaques. Pourquoi ?



© sittman/fotolia.com

L'étude de l'INSERM n'intègre pas les causes d'arrêts cardiaques, mais propose néanmoins un début d'explication : le rôle du stress physique et psychologique généré par les déplacements et les transports. L'utilisation d'un défibrillateur dans les premières minutes d'un infarctus est salutaire dans 85 % des cas. Le gouvernement entend-il renforcer le nombre de défibrillateurs automatiques externes (DAE) dans ces lieux.

La réponse du ministère interpellé vient d'arriver, rassurante : l'accès rapide à un DAE est une préoccupation constante du ministère ! À ce titre, le décret n° 2007-705 du 4 mai 2007 relatif à l'usage des DAE par des non-médecins en modifiant le Code de la santé publique a largement contribué à la diffusion de DAE grand public (sic) en permettant à toute personne d'utiliser un DAE en présence d'un arrêt cardiaque. Outre les gares, nombre de communes en installent des DAE.

Afin de permettre un usage optimal de ces appareils, souligne le ministère, il est recommandé d'encourager la formation tant des personnels travaillant dans les établissements équipés de défibrillateurs que de la population générale. Pour choisir les lieux-clés d'installation des défibrillateurs il est conseillé de consulter un SAMU ou un service départemental de secours. Il est également indispensable d'informer la population de l'existence et du lieu d'implantation des défibrillateurs afin d'éviter toute perte de temps. Enfin, le gouvernement a soutenu, lors de l'examen en première lecture à l'Assemblée nationale, la proposition de loi relative aux défibrillateurs, l'obligation d'implantation et de maintenance de tels dispositifs au sein des établissements recevant du public, ainsi que la création d'une base de données nationale relative aux lieux d'implantation et à l'accessibilité des défibrillateurs. ■■

J.-M. M.

Revendications entendues des médecins généralistes

Il y a deux ans, le sénateur Daniel Laurent alertait le ministère de la Santé [et encore des Droits des femmes] sur les revendications des médecins généralistes portant sur l'égalité de traitement entre spécialités sur les plans conventionnel et tarifaire, la consultation à 25 euros pour les généralistes comme pour les autres spécialités, la visite à domicile du médecin traitant au tarif de la visite longue à 56 euros. Aussi, il lui demandait de lui faire part des réponses du gouvernement.

Le ministère vient de répondre en rappelant que l'Assurance-maladie et les représentants des médecins libéraux ont signé fin août 2016 une nouvelle convention. Au total, près de 1,3 milliard d'euros supplémentaires seront investis chaque année dans la médecine libérale par l'Assurance-maladie et les assurances complémentaires de santé. Cet effort sans précédent marque la reconnaissance de la médecine de ville, en particulier de la médecine générale, dans la prise en charge de nos concitoyens. En encourageant le développement d'une médecine de proximité, cette nouvelle convention va permettre d'amplifier le virage ambulatoire (sic). Ce texte prévoit notamment la revalorisation de la consultation de référence à 25 euros chez le généraliste dès le 1^{er} mai 2017.

Au-delà, cette convention contient de nombreuses mesures qui vont améliorer l'accès à des soins de qualité dans le prolongement des mesures de la loi de modernisation du système de santé : différents niveaux de consultations (25, 30, 46 et 60 euros) ont ainsi été définis pour permettre aux médecins d'adapter la durée de leur consultation aux besoins des patients en fonction de la complexité de leur situation médicale (enfants, malades chroniques, personnes âgées) ; un nouveau forfait prendra en compte les caractéristiques des patients (âge, pathologie...) pour renforcer le suivi au long cours par leur médecin traitant ; pour renforcer l'accès à des soins rapides, la convention incite financièrement les praticiens à prendre en charge sous 48 h un patient adressé par un de leur confrère ; en complément des mesures portées par le Pacte territoire santé, la nouvelle convention permettra de renforcer la lutte contre les déserts médicaux (sic), en instaurant une aide pouvant aller jusqu'à 50 000 euros pour les professionnels décidant de s'installer dans ces zones ; grâce au renforcement de la rémunération sur les Objectifs de santé publique (ROSP) les médecins pourront davantage se consacrer à la prévention (risques liés à la consommation de tabac et d'alcool par exemple).

Enfin des aides permettront enfin aux cabinets médicaux de poursuivre leur informatisation et d'alléger leurs tâches administratives. Les praticiens seront ainsi accompagnés financièrement dans la mise à jour des logiciels compatibles avec l'automatisation du tiers-payant généralisé, ce qui facilitera la mise en place de la mesure prévue par la loi de modernisation du système de santé. ■■

Jean-Marie Manus

